ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОЗРѢНІЕ

1903 г. ТОМЪ 4 No. 4

Стереоскопическій дальномѣръ

Н. А. Умова.

Фирма К. Цейсса (C. Zeiss) въ Іенѣ, много потрудившаяся надъ построеніемъ микроскоповъ на научныхъ началахъ, въ теченіе послѣднихъ восьми лѣтъ создала приборы, дающіе намъ возможность не только проникать въ глубь пространства, что̀ достигается уже зрительными трубами, но и повышать наше ощущеніе глубины и пластики или рельефа окружающихъ насъ вещей. Научные инструменты большею частью расширяютъ сферу познаваемыхъ нами предметовъ безъ повышенія ощущенія.

Въ микроскопъ я разсматриваю чрезвычайно малую клѣтку совершенно также, какъ одинъ изъ близко лежащихъ ко мнѣ предметовъ моей обычной обстановки, но малости клѣтки я не ощущаю и только умозаключаю о ней, дѣлая разсчетъ на основаніи извѣстнаго мнѣ увеличенія микроскопа. Приборъ, описанію котораго посвящается настоящая статья, принадлежитъ къ числу тѣхъ рѣдкихъ инструментовъ, которые, давая намъ средство измѣрить величину, въ то же время даютъ и возможность постигать эту мѣру не только умомъ, но и чувствомъ. Изобрѣтеніе такихъ приборовъ какъ бы указываетъ на то, что въ число задачъ науки входитъ не только расширеніе области познаваемаго, но и повышеніе нашихъ чувствованій.

Разсмотримъ нашу природную способность ощущать глубину пространства. Смотря чрезъ небольшое отверстіе на чер-

ную нить передъ бѣлою стѣной, мы не отличаемъ ея близкаго положенія отъ далекаго. Но при приближеніи или удаленіи нити, т. е. при движеніи, измѣняется аккомодація глаза, и мышечное чувство, сопровождающее такое измѣненіе, даетъ намъ возможность судить о томъ, ближе къ намъ стала нить или дальше. Такимъ образомъ покоющійся глазъ не даетъ намъ возможности судить о дальности предметовъ, т. е. о глубинѣ пространства. Для такого глаза, опредѣленнымъ образомъ аккомодированнаго, пейзажъ представляется плоскою мозаикою. Но измѣненіе аккомодаціи или движеніе всего глаза даютъ намъ возможность расчленять видимые предметы на близкіе и далекіе. При движеніи глаза близкіе предметы представляются движущимися быстрѣе, далекіе—медленнѣе, а очень далекіе остаются неподвижными. Въ спутанной сѣти вѣтвей деревъ, при движеніи наблюдателя, близкія вѣтви начинаютъ скользить по далекимъ, и ощущеніе пейзажа распутывается.

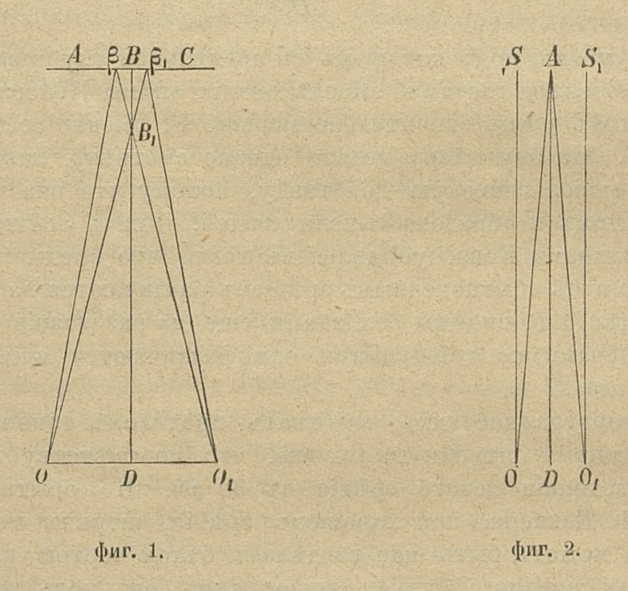
Но два покоющихся и опредѣленнымъ образомъ аккомодированныхъ глаза ощущаютъ глубину пространства. Тѣлесное или стереоскопическое зрѣніе достигаетъ при этомъ наибольшей полноты и отчетливости.

Какъ глубоко—при зрѣніи двумя глазами—можемъ мы проникать въ пространство?

Прежде всего слѣдуетъ опредѣлить наименьшее ощущаемое нами измѣненіе угла между оптическими осями глазъ. Въ первый разъ эта задача была рѣшена Гельмгольцемъ. Къ тремъ прямоугольнымъ брускамъ, лежавшимъ рядомъ на плоскомъ столѣ, были прикрѣплены вертикально три иглы, каждая въ 0·5 mm. толщины; точки A, B и C (фиг. 1) представляютъ слѣды этихъ иглъ на горизонтальной плоскости, проходящей чрезъ оптическіе центры O и O_1 глазъ; разстоянія иглъ AB и BC равнялись, каждое, 12 mm. Смотря на иглы сбоку, можно было установить ихъ строго въ одной вертикальной плоскости, а при передвиженіи средней иглы—судить насколько она изъ нея вышла. Будемъ смотрѣть на иглы спереди и среднюю иглу B выдвигать впередъ, пока она не достигнетъ такого положенія B_1, при которомъ выходъ ея изъ первоначальной плоскости ABC отчетливо ощутится. Оказалось, что перемѣщеніе BB_1 равно толщинѣ иглы, т. е. 0·5 mm. Первоначальный уголъ OBO_1 между оптическими осями глазъ измѣнился въ OB_1O_1. Измѣненіе равно удвоенному углу BOB_1 или (съ малою погрѣшностью) углу $\beta D \beta_1$. У Гельмгольца разстояніе

яснаго зрѣнія было 340 mm ($= BD$), разстояніе между глазами 68 mm ($= OO_1$). Легко видѣть, что $\beta\beta_1/BB_1 = OO_1/B_1D$ или приблизительно $\beta\beta_1 = 0{\cdot}5.68/340 = 0{\cdot}1$ mm. Такимъ образомъ ощущаемое измѣненіе угла зрѣнія равно $\beta\beta_1/DB$ или $(0{\cdot}1/340)\,(180^0/\pi)$, т. е. одной минутѣ. Мы назовемъ этотъ уголъ *предѣльнымъ угломъ зрѣнія* и обозначимъ его чрезъ δ.

Смотря обоими глазами на близкій предметъ, мы выдѣляемъ его изъ фона лежащихъ за нимъ далекихъ предметовъ; удаляясь отъ него, мы дойдемъ наконецъ до такого положенія, когда предметъ не будетъ болѣе выступать изъ этого фона. Слѣдовательно, начиная съ этого разстоянія, всѣ предметы будутъ представляться намъ одинаково далекими и ощущеніе глубины исчезаетъ. Если точка A (фиг. 2), разсматриваемая глазами O и O_1, находится на



Фиг. 1. Фиг. 2.

этомъ предѣльномъ разстояніи, то уголъ OAO_1 представляетъ то измѣненіе въ параллельномъ положеніи оптическихъ осей OS и O_1S_1 нашихъ глазъ, фиксирующихъ безконечно удаленную точку, которое даетъ уже намъ ощущеніе выхода точки A изъ безконечно удаленной плоскости. Этотъ уголъ долженъ быть равенъ предѣльному углу зрѣнія (δ), т. е. одной минутѣ. Означая чрезъ K разстояніе OO_1 между глазами, предѣльная глубина пространства H ($= AD$) опредѣлится, какъ показываетъ фиг. 2, изъ соотношенія:

$$H = \frac{K}{2\,\mathrm{tg}(\delta/2)}.$$

Принимая, по Гельмгольцу, $\delta = 1'$ и среднюю величину K равною 65 mm, получимъ $H = 224$ m.

Таково разстояніе, на протяженіи котораго нами ощущается глубина пространства. Мы видимъ, что эта предѣльная или *стереоскопическая глубина* пропорціональна разстоянію между оптическими центрами глазъ и обратно-пропорціональна тангенсу половины предѣльнаго угла зрѣнія. Принимая во вниманіе малость этого угла, мы можемъ его характеризовать соотношеніемъ:

$$\delta = \frac{K}{H},$$

т. е. какъ уголъ, подъ которымъ съ предѣльной глубины видимо разстояніе между глазами. Изслѣдованія фирмы Цейсса показали, что этотъ уголъ значительно меньше $1'$, именно составляетъ около $0{\cdot}5'$. На эту цифру нельзя однако смотрѣть, какъ на нѣкоторую физіологическую константу, потому что она мѣняется съ возрастомъ и образомъ жизни людей. Врачъ Зейтцъ, пользуясь таблицами Кона, убѣдился въ томъ, что предметы, которые людьми съ обыкновеннымъ зрѣніемъ различаются на разстояніи не болѣе 6 m, видимы солдатами еще на разстояніи 8—10 m, артиллеристами же и бедуинами они различаются еще на разстояніяхъ до 27 m.

Въ топографическихъ чертежахъ предѣломъ точности считается толщина штриха въ 0·1 mm, что соотвѣтствуетъ около $1'$ при разстояніи яснаго зрѣнія въ 30 cm. По опытамъ профессора Ф. Беккера, при хорошемъ зрѣніи, штрихъ толщиною въ 0·1 mm можетъ быть еще раздѣленъ бѣлою чертою, проведенною по его серединѣ; будучи близорукимъ, онъ могъ различать даже двѣ бѣлыхъ, т. е. три черныхъ черты, толщиною каждая въ 1/50 mm; это соотвѣтствуетъ углу въ $12''$ на разстояніи 30 cm. Повторяя опыты Гельмгольца (иглы, имѣющія чистую поверхность или покрытыя чернымъ лакомъ, ставятся передъ различными фонами: чернымъ матовымъ, обклееннымъ бѣлою бумагою), Геккеръ въ Потсдамѣ нашелъ для предѣльнаго угла величину въ $22''$. Изслѣдованія Кона въ Бреславлѣ надъ школьниками, подтвержденныя Вюльфингомъ, показали, что этотъ предѣлъ понижается въ молодомъ возрастѣ до $10''$.

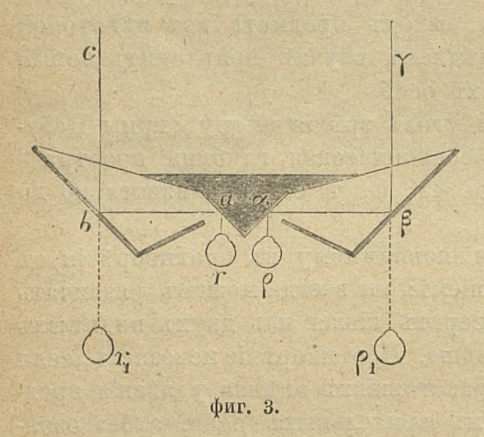
Относительно этихъ опытовъ слѣдуетъ замѣтить, что предѣльный уголъ зрѣнія, при которомъ мы можемъ еще различать два предмета, можетъ не совпадать съ тѣмъ угломъ, при которомъ становится ощутимымъ выходъ предмета изъ нѣкоторой плоскости, такъ какъ въ послѣднемъ случаѣ привходитъ новый элементъ—сведеніе зрительныхъ осей.

Принимая за предѣльный уголъ зрѣнія цифру фирмы Цейсса—30″, предѣльная или стереоскопическая глубина пространства будетъ простираться до 450 m, т. е. приблизительно до полукилометра.

Такой выводъ находится повидимому въ противорѣчіи съ нашимъ обыденнымъ наблюденіемъ: мы всегда можемъ различать на разстояніи пяти и болѣе верстъ какая изъ двухъ видимыхъ колоколенъ ближе и какая дальше. Противорѣчіе исчезнетъ, если мы замѣтимъ, что на такихъ разстояніяхъ оцѣнка удаленія предмета достигается не сведеніемъ зрительныхъ осей, а безсознательнымъ умозаключеніемъ, опирающимся на сравненіи величинъ двухъ предметовъ, размѣры которыхъ намъ извѣстны. Получается курьезный выводъ, что можно каждаго изъ насъ окружить полусферою, описанною радіусомъ въ полкилометра, за которою въ оцѣнкѣ глубины кончается роль ощущенія и начинается роль сужденія.

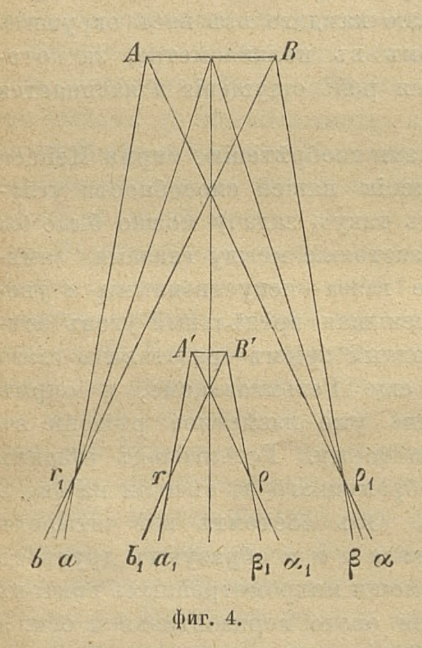
На пути къ описываемому нами изобрѣтенію, фирма Цейсса направила свои усилія къ увеличенію нашей способности углубляться въ пространство. Рѣшить такую задачу можно было бы двумя способами: увеличивая разстояніе между глазами, замѣняя, такъ сказать, естественные глаза—искуственными, и увеличивая остроту зрѣнія, т. е. уменьшая предѣльный уголъ зрѣнія. Первый, повидимому абсурдный пріемъ—разставить глаза человѣка—былъ осуществленъ еще Гельмгольцемъ, и фирмѣ Цейсса оставалось только облечь уже извѣстное рѣшеніе въ удобную и практически полезную форму. Гельмгольцъ рѣшилъ задачу при помощи прибора, изображеннаго въ сѣченіи на фиг. 3 и названнаго телестереоскопомъ. Онъ состоитъ изъ четырехъ плоскихъ зеркалъ a, b, α и β. Зеркала a и α образуютъ другъ съ другомъ прямой уголъ, и при помощи микрометренныхъ винтовъ зеркало β можетъ поворачиваться около горизонтальной оси, а зеркало b около вертикальной. Глаза наблюдателя помѣщаются въ r и ρ, но изображенія, рисующіяся на ретинѣ, таковы, какъ если бы глаза находились въ мѣстахъ r_1 и ρ_1, т. е. были бы раз-

ставлены другъ отъ друга на разстояніе $r_1\rho_1$, большее естественнаго разстоянія. Этимъ самымъ возростаетъ доступная нашему ощущенію предѣльная глубина пространства и увеличивается пластичность ощущенія или рельефъ разсматриваемыхъ предметовъ. Пластичность или тѣлесность ощущенія зависитъ отъ различія изображеній одного и того же предмета на ретинахъ праваго и лѣваго глаза; чѣмъ болѣе глаза разставлены, тѣмъ болѣе эти изображенія отличаются одно отъ другого. Смотря чрезъ такой приборъ, намъ кажется, что мы видимъ передъ собою модели предметовъ, уменьшенныя сравнительно съ ихъ естественными размѣрами въ отношеніи искуственнаго разстоянія глазъ къ естественному.



фиг. 3.

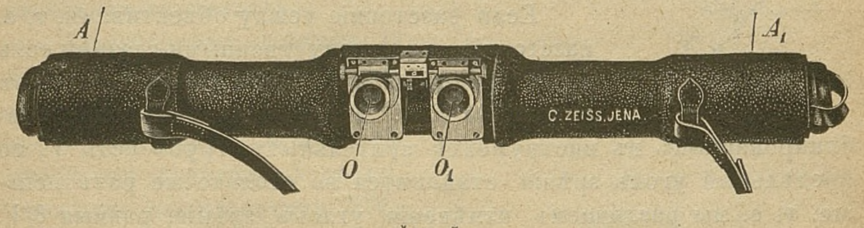
Въ самомъ дѣлѣ положимъ, что AB (фиг. 4) есть разсматриваемый предметъ, r_1 и ρ_1 искуственные глаза, ba и $\beta\alpha$ изображенія на соотвѣтственныхъ ретинахъ; они переносятся приборомъ въ равныя изображенія b_1a_1 и $\beta_1\alpha_1$ на ретинахъ дѣйствительныхъ глазъ r и ρ. Этимъ изображеніямъ, какъ видно изъ чертежа, соотвѣтствуетъ предметъ $A'B'$ меньшій AB въ указанное выше число разъ. Такимъ образомъ принципъ телестереоскопа заключается въ образованіи на сѣтчаткѣ изображеній, соотвѣтствующихъ глазамъ, разставленнымъ на большее разстояніе, чѣмъ естественное; проектируя ихъ въ пространство, мы видимъ предметы въ меньшихъ



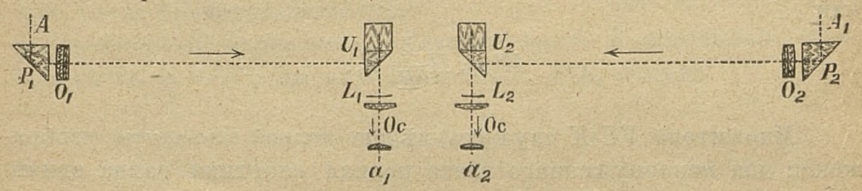
фиг. 4.

размѣрахъ, чѣмъ дѣйствительные. Это значитъ, что углубленіе въ пространство телестереоскопомъ достигается стягиваніемъ по направленію къ намъ всего окружающаго и сводится къ разсматриванію получаемой этимъ путемъ уменьшенной модели пространства.

Уже Гельмгольцъ соединялъ свой аппаратъ съ зрительными трубами; формы, удобныя для пользованія, были выработаны фирмою Цейсса. Оставляя въ сторонѣ описаніе бинокля, устроеннаго на этомъ принципѣ, я остановлюсь на формѣ дальномѣровъ. Наружный видъ его представленъ на фиг. 5. Въ твердомъ футлярѣ, обтянутомъ кожею, имѣются невидимыя на рисункѣ отверстія A и A', чрезъ которыя проникаютъ лучи свѣта въ объективы двухъ неизмѣняемо соединенныхъ зрительныхъ трубъ; O и O_1 представляютъ ихъ подвижные окуляры. Внутреннее устройство изображено на фиг. 6; въ ней обозначенъ ходъ лучей къ объективамъ и отъ нихъ къ окулярамъ. Лучи направляются полнымъ внутреннимъ отраженіемъ въ призмахъ, причемъ изображенія перевертываются.



фиг. 5.

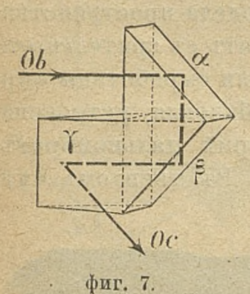


фиг. 6.

Противъ отверстій A и A' находятся призмы P_1 и P_2, направляющія лучи къ объективамъ O_1 и O_2; оттуда они идутъ къ призмамъ Порро U_1 и U_2 и затѣмъ поступаютъ въ окуляры Oc и къ глазамъ наблюдателя, a_1 и a_2. Ходъ лучей въ призмѣ Порро, представляющей отлитую изъ цѣльной массы систему двухъ призмъ, изображенъ на фиг. 7; лучъ испытываетъ три раза полное отраженіе на поверхностяхъ α, β, γ.

Таково устройство рельефныхъ зрительныхъ трубъ и фельдштехеровъ.

Опредѣлимъ стереоскопическую глубину пространства, разсматриваемаго этими инструментами. Раньше мы нашли слѣдующее выраженіе для предѣльной глубины невооруженнаго глаза



фиг. 7.

$$H = \frac{K}{2\operatorname{tg}(\delta/2)}.$$

Если разстояніе между объективами, т. е. разстояніе между искуственными глазами есть L, то предыдущая глубина увеличивается въ отношеніи L/K. Далѣе, если увеличеніе комбинированныхъ въ инструментѣ зрительныхъ трубъ есть V, то предѣльный уголъ зрѣнія становится во столько же разъ меньше, т. е. мы различаемъ измѣненія угловъ зрѣнія, равныя δ/V. Такимъ образомъ новая стереоскопическая глубина представится выраженіемъ:

$$H' = \frac{L}{\dfrac{2\operatorname{tg}(\delta/2)}{V}} = \frac{K}{2\operatorname{tg}(\delta/2)} \, \frac{L}{K} \, V$$

или

$$H' = H \frac{L}{K} V.$$

Множитель VL/K служитъ мѣрою *полной пластики* изображенія; для невооруженнаго глаза полная пластика равна единицѣ, ибо тогда $L = K$ и $V = 1$.

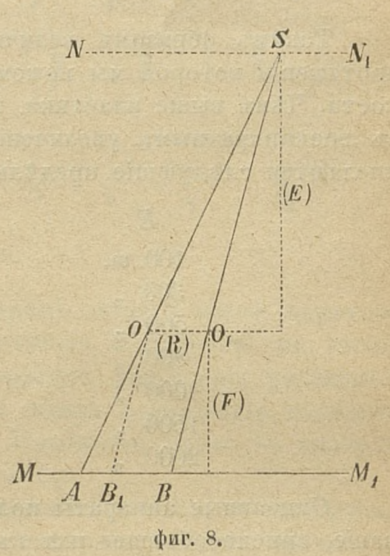
Фирма приготовляетъ три типа инструментовъ, которые характеризуются слѣдующими данными:

разстояніе объективовъ (L)	51 cm.	87	144
увеличеніе (V)	8	14	23
пластика	63	188	510
стереоскопическая глубина (H')	28 km.	84	228
вѣсъ инструментовъ	3 kgr.	8	13.5
способъ укрѣпленія	на рукахъ	на штативѣ.	

Когда мы разсматриваемъ окружающее насъ пространство, всѣ плоскости перпендикулярныя къ линіи зрѣнія и лежащія далѣе

предѣльной глубины представляются намъ совмѣщенными. Когда переходимъ къ меньшимъ и меньшимъ глубинамъ, наша способность различенія плоскостей, ближе и дальше лежащихъ, возростаетъ, и интересно опредѣлить, какъ измѣняется та толща пространства, на протяженіи которой мы не можемъ различать одну за другою лежащія плоскости, въ зависимости отъ разстоянія, на которомъ эта толща находится. Различимость плоскостей опредѣляется измѣненіемъ стереоскопическаго параллакса.

Представимъ точками O и O_1 (фиг 8) центры объективовъ, MM_1 фокальную плоскость перпендикулярную къ плоскости чертежа, S точку, лежащую на плоскости NN_1, параллельной MM_1 и находящуюся на разстояніи E отъ линіи OO_1; пусть A и B представляютъ изображенія точки S. Если провести линію OB_1, параллельную O_1B, то разстояніе AB_1 ($= \varepsilon$) представляетъ стереоскопическій параллаксъ. Называя чрезъ R разстояніе объективовъ (т. е. OO'), мы находимъ $\varepsilon/R = F/E$, откуда



фиг. 8.

$$\varepsilon = R\,\frac{F}{E},$$

гдѣ F есть фокусное разстояніе и E разстояніе плоскости NN_1 отъ объективовъ. Для всѣхъ точекъ плоскости NN_1 стереоскопическій параллаксъ есть величина постоянная. Измѣненіе параллакса съ измѣненіемъ положенія плоскости дается формулою:

$$\Delta\varepsilon = -R\,\frac{F}{E^2}\,\Delta E\,.$$

Оцѣнка разстоянія между двумя плоскостями по измѣненію параллакса дается величиною:

$$\Delta E = -\,\frac{E^2}{R}\,\frac{\Delta\varepsilon}{F}$$

гдѣ $\Delta\varepsilon/F$ представляетъ предѣльное различимое измѣненіе угла зрѣнія; если V есть увеличеніе инструмента, то это послѣднее равно $30''/V$. Мы можемъ поэтому представить предыдущее выраженіе въ видѣ

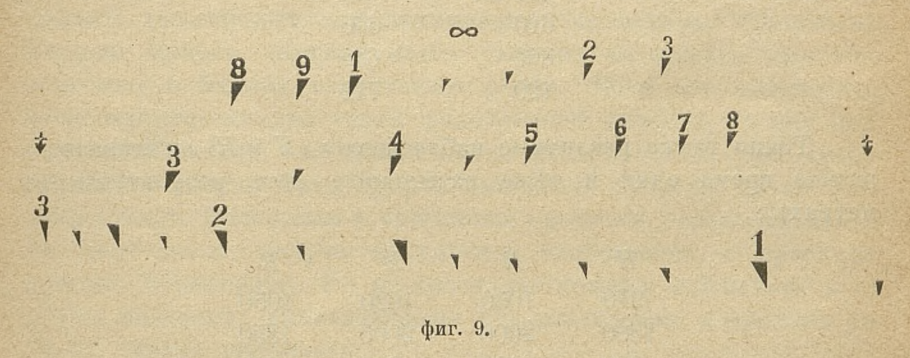
$$\Delta E = -\frac{E^2}{R}\frac{2\operatorname{tg}15''}{V} = -\frac{E^2}{H_1}.$$

Такимъ образомъ величина ΔE представляетъ толщу, на протяженіи которой мы можемъ смѣшивать между собою плоскости. Чѣмъ выше пластика, тѣмъ эта толща меньше. Для типа съ восьмикратнымъ увеличеніемъ по предыдущей формулѣ вычисляются слѣдующіе предѣлы ΔE различенія глубинъ:

E	ΔE	%
100 m.	35 cm.	0·35
300 "	3·2 m.	1·1
500 "	9·0 "	1·8
800 "	23·0 "	2·9
1000 "	35·0 "	3·5
1500 "	80·0 "	5·3
2000 "	140·0 "	11·0

Описанные аппараты получили дальнѣйшее усовершенствованіе, приспособившее ихъ къ измѣренію разстояній. Идея, осуществленная послѣ продолжительныхъ предварительныхъ опытовъ и многочисленныхъ затрудненій, была передана фирмѣ въ 1893 г. инженеромъ Грузильеромъ (Hector de Grousilliers). Онъ предложилъ помѣщать въ фокальныхъ плоскостяхъ трубъ фотографическіе снимки нарисованной шкалы съ пронумерованными марками, которые—при разсматриваніи обоими глазами—образуютъ пространственный образъ, совмѣщающійся съ наблюдаемымъ пространствомъ. При сообщеніи аппарату движенія, рядъ марокъ, тянущійся въ глубь, скользитъ по ландшафту, и наблюдатель можетъ опредѣлить между какими марками проскакиваетъ тотъ или другой предметъ ландшафта. Шкалѣ придана форма удаляющагося отъ насъ зигзага, и марки, согласно требованіямъ перспективы, уменьшаются въ своихъ размѣрахъ вмѣстѣ съ своимъ удаленіемъ. Зигзаги подымаются отъ насъ, подобно удаляющимъ предметамъ. Такая шкала въ увеличенномъ размѣрѣ представлена на фиг. 9. Находящіяся на ней марки соотвѣтствуютъ разстояніямъ въ метрахъ: 90, 100 (1), 110, 120, 130, 140, 150, 175,

200 (2), 225, 250, 275, 300 (3) и т. д. Цифры, написанныя на шкалѣ, означаютъ сотни метровъ. На приложенной къ статьѣ фотографіи находятся стереоскопическіе снимки ландшафта и шкалъ; здѣсь въ ближайшемъ зигзагѣ марки означаютъ послѣдовательно



фиг. 9.

600, 700, 800, 900, 1000 m.; во второмъ зигзагѣ марки идутъ отъ тысячи до 2000 m. и т. д. Помѣстивши фотографію въ стереоскопъ, мы будемъ въ состояніи оцѣнить разстоянія различныхъ частей ландшафта: напр. видимое вдали возвышеніе находится на разстояніи 2 тысячъ метровъ. Положеніе шкалъ въ аппаратѣ на фиг. 6 обозначено буквами L_1 и L_2.

Я не буду излагать здѣсь способовъ вывѣрки инструментовъ и предписаній относительно ихъ употребленія. Значки, отмѣченные крестиками, служатъ для провѣрки правильной установки. Соотвѣтственное наставленіе прилагается къ пріобрѣтаемому инструменту. Скажу только, что наблюденіе этими дальномѣрами доступно лицамъ, не страдающимъ такими недостатками глазъ, при которыхъ стереоскопическое зрѣніе невозможно. Опредѣленіе разстояній дѣлается не только для неподвижныхъ предметовъ, но также и для движущихся, какъ напр. скачущей лошади, парящей птицы, воздушнаго шара и т. д. Описанный здѣсь стереоскопическій дальномѣръ представляетъ наиболѣе совершенный изъ всѣхъ инструментовъ, донынѣ предложенныхъ для измѣренія разстояній. Въ дальномѣрахъ имѣется еще горизонтальный прямолинейный масштабъ для измѣренія ширины предметовъ; одно дѣленіе масштаба соотвѣтствуетъ 1 метру на разстояніи 1000 метровъ; слѣдовательно на разстояніи E метровъ каждое дѣленіе имѣетъ значеніе $E/1000$ m.

Вопросъ о томъ, въ какой мѣрѣ стереоскопическій дальномѣръ удовлетворяетъ практическимъ требованіямъ, былъ обстоя-

тельно изслѣдованъ Геккеромъ; разстоянія оцѣнивались дальномѣромъ и измѣрялись въ дѣйствительности; результаты оцѣнки приведены въ 1-мъ столбцѣ, а результаты измѣреній—во 2-мъ:

480 m.	488
610	630
660	682
720	712

Точно также различные наблюдатели (H и R) оцѣнивали въ разное время одни и тѣже разстоянія; вотъ результаты (въ метрахъ):

H	R	H	R
970	1050	1020	1050
1800	2000	2000	1850
280	280	280	280
1200	1300	1200	1200

Что касается до самаго построенія шкалъ, то оно дѣлается при помощи выведеннаго выше выраженія для стереоскопическаго параллакса:

$$\varepsilon = R \frac{F}{E}.$$

Если въ фокальныхъ плоскостяхъ дальномѣра, лѣвой и правой, мы поставимъ двѣ марки, коихъ параллаксъ вычисленъ для разстоянія E, то онѣ будутъ проектироваться нами въ одну точку на этомъ же разстояніи. Абсолютное положеніе этихъ марокъ въ указанныхъ плоскостяхъ не имѣетъ никакого значенія, а только относительное. Если M и M_1 (фиг. 10) представляютъ центры фокальныхъ плоскостей, то, ставя двѣ марки A и B такъ, чтобы $BM_1 - AM = \varepsilon$, получаемъ въ пространствѣ одну марку на разстояніи E. Основываясь на этомъ разсужденіи фирма устраиваетъ снаряды, имѣющіе только по одной маркѣ въ каждомъ полѣ зрѣнія; одна изъ нихъ можетъ перемѣщаться, причемъ перемѣщенія отсчитываются на головкѣ микрометреннаго винта; такимъ образомъ обѣ марки даютъ въ пространствѣ одну, которая можетъ быть совмѣщаема съ любымъ изъ разсма-

A B
M M₁

фиг. 10.

триваемыхъ предметовъ, и разстоянія отсчитываются по дѣленіямъ на головкѣ того же микрометреннаго винта.

Для всѣхъ точекъ одной и той же плоскости стереоскопическій параллаксъ имѣетъ одну и ту же величину. Это свойство привело къ любопытному приложенію стереоскопа, сдѣланному фирмою Цейсса. Прежде всего укажемъ на явленія, имъ объясняемыя и бывшія извѣстными ранѣе. Если мы совмѣстимъ стереоскопически двѣ части раздѣленной линейки, то при правильности дѣленій она представится намъ плоскою; при неправильности дѣленій одни будутъ выступать впередъ, другія уходить назадъ. Настоящая и фальшивая кредитки, разсматриваемыя въ стереоскопъ, дадутъ не плоское изображеніе, а пространственно искаженное. То же самое мы можемъ наблюдать и съ двумя медалями, вычеканенными изъ различныхъ металловъ хотя бы однимъ штамбомъ.

Dr. Пульфрихъ, участникъ фирмы Цейсса, основалъ на томъ же свойствѣ свой стереокомпараторъ и сдѣлалъ изъ него чрезвычайно важное примѣненіе къ изученію явленій небеснаго свода. На многихъ астрономическихъ обсерваторіяхъ дѣлаются снимки частей звѣзднаго неба. Сравнивая между собою подобныя изображенія, снятыя въ различное время, можно открыть новыя звѣзды, планетоиды и разныя перемѣны на небесномъ сводѣ. Но такое сравненіе требуетъ чрезвычайно утомительной работы, такъ какъ нужно сравнивать звѣзду со звѣздою на двухъ изображеніяхъ. Полезность дѣлаемыхъ снимковъ значительно бы возросла, если бы результаты сравненія двухъ фотографій выступали сразу. И это достигнуто Пульфрихомъ; снимки съ одной и той же части неба, сдѣланные въ различныхъ положеніяхъ земли и въ разное время, онъ помѣщаетъ въ особо устроенный стереоскопъ, названный имъ *стереокомпараторомъ*. Пластика этого прибора несравненно значительнѣе пластики рельефныхъ трубъ, такъ какъ здѣсь искуственное разстояніе глазъ, соотвѣтствующее сдѣланнымъ снимкамъ, можетъ достигнуть длины діаметра земной орбиты, т. е. 300 милліоновъ километровъ.

Положенія звѣздъ на обоихъ снимкахъ различны, какъ вслѣдствіе перемѣщенія земли, перемѣщенія солнечной системы, такъ и вслѣдствіе ихъ собственнаго движенія. Поэтому, разсматривая два снимка, которые стереоскопически совмѣщаются, мы не имѣемъ предъ собою плоской картины звѣзднаго неба; напротивъ,

однѣ звѣзды выступаютъ къ намъ, другія уходятъ отъ насъ; звѣзды, обладающія одинаковыми движеніями, выдѣляются отдѣльною группою изъ хаотически разбросанныхъ свѣтилъ. Открытіе новаго свѣтила не требуетъ утомительнаго и часто безплоднаго исканія; новому свѣтилу соотвѣтствуетъ точка только на одномъ изъ снимковъ; поэтому такая точка не фиксируется нами въ опредѣленномъ мѣстѣ пространства, а представляется, какъ бы скачущею; мы относимъ ее то ближе къ себѣ, то дальше отъ насъ. Точно также въ значительной мѣрѣ облегчается открытіе малыхъ туманностей. Несмотря на многіе недостатки, стереокомпараторъ обѣщаетъ оказать значительныя услуги въ изученіи явленій небеснаго свода и нашей планетной системы.

Прослѣживая исторію описанныхъ здѣсь инструментовъ, мы замѣтимъ, что достигнутые успѣхи обязаны содержательности идеи, положенной въ основу изобрѣтенія, и ея детальной, обстоятельной разработкѣ, какъ въ теоретическомъ отношеніи, такъ и въ практическомъ осуществленіи. Такая полнота работы и ея выдающіеся результаты могли быть достигнуты, благодаря счастливому и свободному соединенію научнаго знанія и техническаго умѣнія, академіи и физическаго труда, на которомъ построено выдающееся учрежденіе Карла Цейсса въ Іенѣ.

Москва. Октябрь 1902.

Электрическій токъ въ газахъ

А. Л. Королькова.

1) *Механизмъ электропроводности газа.*

Хотя при обыкновенныхъ условіяхъ газы не проводятъ электричества, но въ нѣкоторыхъ случаяхъ они пріобрѣтаютъ электропроводность; такъ при нагрѣваніи, въ присутствіи пламени, при быстромъ теченіи, подъ вліяніемъ катодныхъ, рёнтгеновскихъ и беккерелевскихъ лучей газы проводятъ электричество.

По гипотезѣ Дж Дж. Томсона механизмъ электропроводности въ газѣ аналогиченъ такому же механизму въ электролитѣ. При

вышеуказанныхъ обстоятельствахъ газъ *іонизируется*, т. е. каждая частица газа распадается на два іона, изъ коихъ одинъ несетъ положительный, а другой отрицательный зарядъ. Эти іоны, подобно электролитическимъ, движутся въ электрическомъ полѣ между двумя электродами по противоположнымъ направленіямъ и, достигнувъ соотвѣтственныхъ электродовъ, нейтрализуютъ часть ихъ зарядовъ. Если зарядъ, несомый каждымъ іономъ есть e, скорость движенія іоновъ (сумма скоростей аніона и катіона) есть w, число іоновъ въ единицѣ объема, движущихся къ электродамъ, есть n, то въ одну секунду къ каждому квадратному центиметру поверхности электрода подойдетъ nw іоновъ, которые снимутъ съ электрода nwe единицъ электричества, взамѣнъ которыхъ по проводамъ притечетъ вновь i единицъ электричества (i есть сила тока чрезъ □ cm электродовъ). Въ случаѣ установившагося тока $i = nwe$. Скорость w іоновъ пропорціональна напряженію электрическаго поля E/L (гдѣ E разность потенціаловъ между электродами, а L разстояніе между ними); поэтому $w = UE/L$, гдѣ U есть скорость при паденіи потенціала въ одинъ вольтъ на центиметръ разстоянія между электродами; такимъ образомъ

$$i = n\frac{E}{L}\,Ue\,. \qquad (1)$$

Пусть каждую секунду въ единицѣ объема газа распадается отъ какой-либо причины N частицъ и образуется N отрицательныхъ іоновъ и N положительныхъ іоновъ. Часть этихъ іоновъ, именно i/e іоновъ въ 1 сек., потеряетъ свои заряды у электродовъ; другая часть потеряетъ свои заряды при встрѣчахъ положительныхъ и отрицательныхъ іоновъ; эта послѣдняя часть должна быть пропорціональна квадрату числа движущихся къ электродамъ іоновъ, т. е. для каждаго cm^3 равна an^2. Тогда въ объемѣ, лежащемъ между электродами и имѣющемъ сѣченіе □ cm и длину L, образуется въ одну секунду NL іоновъ, а расходуется $an^2L + i/e$ іоновъ. При стаціонарномъ явленіи

$$NL = an^2L + \frac{i}{e}\,. \qquad (2)$$

Опредѣливъ n изъ (1) и подставивъ во (2), получимъ

$$NL = \frac{aL^3}{E^2U^2e^2}\,i^2 + \frac{i}{e}\,. \qquad (3)$$

Изъ этого уравненія вытекаютъ слѣдующіе выводы:

1. *При неограниченномъ возрастаніи разности потенціаловъ E* между электродами, первый членъ во второй части послѣдняго равенства непрерывно убываетъ и *токъ i стремится къ предѣлу*:

$$i_{lim} = NLe\ .$$

2. *При малыхъ разстояніяхъ между электродами* тотъ же первый членъ, содержащій малую величину L въ кубѣ, малъ, а потому

$$i = NLe,$$

т. е. *сила тока прямо-пропорціональна разстоянію между электродами.*

3. *При большихъ разстояніяхъ* второй членъ малъ сравнительно съ первымъ, а потому

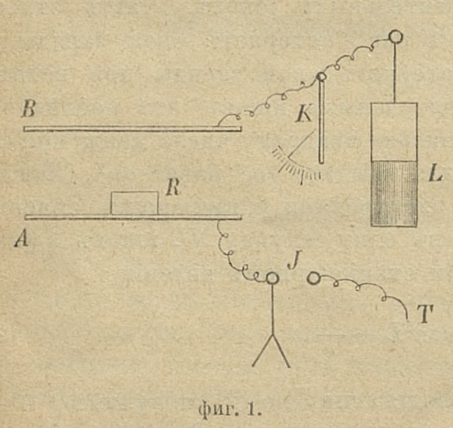
$$i = \frac{EUe}{L}\sqrt{\frac{N}{\alpha}},$$

т. е. при большомъ разстояніи между электродами *сила тока обратно-пропорціональна этому разстоянію.*

4. При нѣкоторомъ разстояніи между электродами сила тока достигаетъ наибольшаго значенія.

2) *Іонизація воздуха беккерелевскими лучами.*

Всѣ эти выводы и многіе другіе, вытекающіе изъ теоріи іонизаціи газовъ, очень удобно провѣрить при помощи радіоактивныхъ веществъ. Для этого я пользовался двумя изолированными кружками (отъ 7 до 20 cm. въ діаметрѣ), между которыми устанавливалась разность потенціаловъ до 8000 volt при помощи маленькой электрической машины съ тренiемъ (діаметръ стекляннаго круга 25 cm). Верхній кружокъ B (фиг. 1) соединялся съ однимъ кондукторомъ машины, съ электрометромъ Кольбе K (съ бумажнымъ листкомъ), прокалиброваннымъ при помощи искромѣра до 8000 volt, и съ

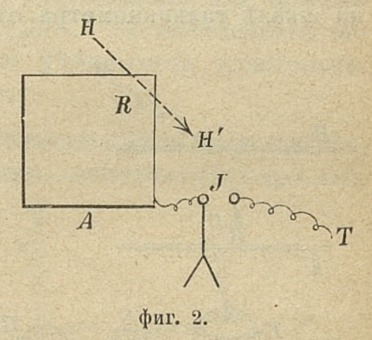


фиг. 1.

лейденскою банкою *L*. Нижній кружокъ *A* соединялся съ разряднымъ электроскопомъ *J* или съ достаточно чувствительнымъ гальванометромъ (гальванометръ Сименса и Гальске съ такою чувствительностью, что 1 mm шкалы на разстояніи 1 m отвѣчаетъ 8.10^{-10} amp); разрядный электроскопъ нагляднѣе. Если на нижній кружокъ положить 15 mgr бромистаго радія *R*, то —по колебаніямъ листочковъ разряднаго электрометра —замѣчается токъ порядка 10^{-8} amp, мѣняющійся въ зависимости отъ разстоянія между кружками и разности потенціаловъ, согласно вышеуказанной теоріи Дж. Дж. Томсона.

3) *Отклоненіе беккерелевскихъ лучей въ магнитномъ полѣ.*

Для демонстраціи отклоненія беккерелевскихъ лучей магнитомъ я пользуюсь тою же схемою, что и въ предыдущемъ опытѣ, т. е. двумя пластинками, изъ которыхъ верхняя соединена съ электрическою машиною, лейденскою банкою и электрометромъ Кольбе. На уголъ нижней пластинки *A* (фиг. 2) кладется 15 mgr бромистаго радія *R* между полюсами маленькаго электромагнита (Вейнгольда). При электризаціи верхней пластинки сейчасъ же появляется токъ отъ нижней пластинки чрезъ разрядный электрометръ въ землю *T*. Если же чрезъ электромагнитъ пропустить токъ и развить магнитное поле, направленное по *HH'* въ плоскости пластинки *A*, то токъ чрезъ воздухъ усиливается въ 2—3 раза; слѣд. часть беккерелевскихъ лучей отклоняется въ пространство между пластинками, вслѣдствіе чего іонизація и электропроводность воздуха усиливаются; при перемѣнѣ направленія магнитнаго поля на прямо противоположное, беккерелевскіе лучи изгибаются прочь отъ пластинокъ, и токъ чрезъ воздухъ ослабѣваетъ въ 3—4 раза.

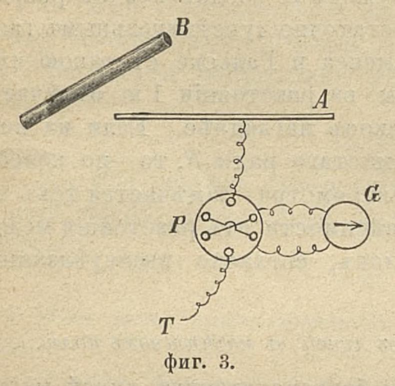


фиг. 2.

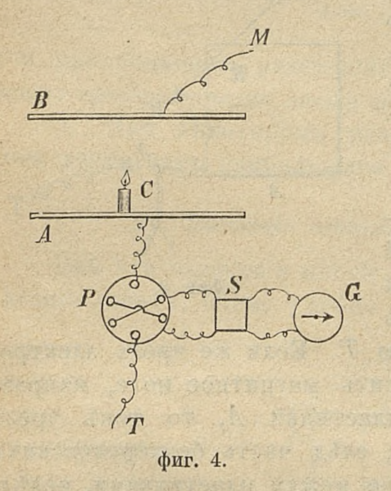
4) *Электрическій токъ отъ статическаго электричества.*

Съ педагогическими цѣлями весьма важно показать ученикамъ, что электричество отъ тренія, электризація чрезъ вліяніе и т. п. способы электризаціи могутъ давать токъ, хотя и слабый, но въ сущности ничѣмъ не отличающійся отъ тока бата-

реи или динамомашины и обнаруживаемый при помощи гальванометра Для этого я пользуюсь гальванометромъ съ вращающеюся рамкою Сименса и Гальске (чувств. 8.10^{-10} amp при 1 mm отклоненія на разстояніи 1 m). Соединивъ одинъ борнъ гальванометра G (фиг. 3) съ изолированною металлическою пластинкою A, а другой съ землею T, получаемъ разомкнутую цѣпь. Поднеся къ пластинкѣ наэлектризованную треніемъ стеклянную или эбонитовую палку B, замѣтимъ на шкалѣ гальванометра отклоненіе въ 100—500 mm, т. е токъ силою до 4.10^{-7} amp. Перемѣнивъ комутаторомъ P соединенія пластинки A съ гальванометромъ и опять подносят наэлектризованную палку, получимъ отклоненіе въ противоположную сторону. Удаленіе палки вызываетъ токъ обратный тому, который наблюдается при приближеніи. Чтобы получить постоянный токъ отъ электрической машины тренія (діаметръ круга въ 25 cm), необходимо имѣть очень большое сопротивленіе; для этой цѣли удобнѣе всего воспользоваться столбомъ воздуха между двумя кружками (10—20 cm діаметромъ) A и B (фиг. 4), который сдѣланъ проводящимъ вслѣдствіе горѣнія маленькой свѣчки или лампочки C, поставленной на нижнемъ кружкѣ; разстояніе между пластинками должно быть 20—40 cm. При вращеніи машины со скоростью одного или двухъ оборотовъ въ сек. гальванометръ G показываетъ постоянный токъ силою до 10^{-6} amp.



фиг. 3.



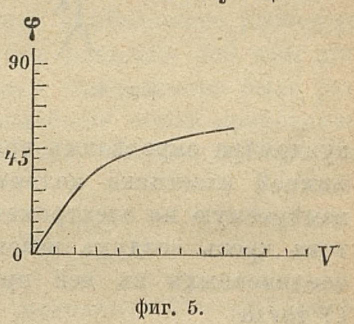
фиг. 4.

5) *Калиброваніе электрометра Кольбе, какъ вольтметра.*

По неимѣнію въ продажѣ хорошаго вольтметра до 10000 и болѣе вольтъ, вмѣсто таковаго можно прокалибровать электро-

метръ Кольбе (безъ конденсатора) съ бумажнымъ листочкомъ до 10000 volt и съ алюминіевымъ листкомъ до 2000 volt. Относительное значеніе дѣленій на зеркальной шкалѣ электрометра можно найти извѣстнымъ способомъ съ „фарадеевскимъ сосудомъ". На электрометръ навинчиваютъ полый шаръ ($d = 5$ cm), замѣняющій фарадеевскій сосудъ и при помощи небольшого, хорошо изолированнаго на эбонитовой длинной ручкѣ пробнаго шарика вносятъ *внутрь* шара нѣсколько *одинаковыхъ* зарядовъ; каждый изъ этихъ зарядовъ, передаваясь электрометру, поднимаетъ потенціалъ послѣдняго на *одинаковую* величину. Для сообщенія пробному шарику каждый разъ въ точности одинаковаго заряда, шарикъ электризуютъ прикосновеніемъ къ одному и тому же мѣсту внутренней обкладки большой лейденской банки, потенціалъ которой поддерживается постояннымъ при помощи небольшой электрической машины тренія. Въ постоянствѣ потенціала внутренней обкладки банки убѣждаются электроскопомъ Кольбе съ градусными дѣленіями.

Затѣмъ по оси абсциссъ (фиг. 5) откладываютъ число внесенныхъ равныхъ зарядовъ, а по оси ординатъ—соотвѣтствующее число градусовъ, на которые отклонился листочекъ электроскопа. Для того, чтобы получить значеніе потенціала въ вольтахъ, можно воспользоваться тѣми данными, которыя имѣются о зависимости длины искры (d) отъ разности потенціаловъ (V). При 18° Ц. и 745 mm давленія для шариковъ радіусомъ въ 0·5 cm:



фиг. 5.

$d = 1$ mm	$V = 4800$ volt
2	8370
3	11370

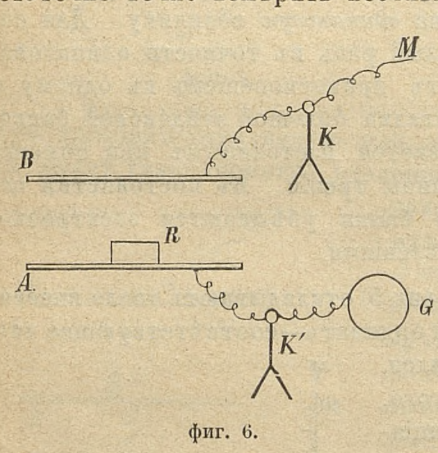
При той же длинѣ искры пониженіе температуры на 3° Ц. и увеличеніе давленія на 8 mm повышаютъ вольты на 1% (Wied. An 48 (1893), 245).

До 35° зависимость между отклоненіями и разностью потенціаловъ выражается для электрометра Кольбе почти прямою линіею. Присоединивъ къ одному полюсу машины тренія электрометръ и одинъ изъ шариковъ искромѣра, соединяемъ

другой шарикъ и другой полюсъ машины съ землею; разстояніе между шариками устанавливаемъ въ 1 mm и начинаемъ вращать машину, замѣчая предъ разрядомъ наибольшее отклоненіе электрометра, которое соотвѣтствуетъ вышеуказанному числу вольтъ.

6) *Измѣреніе малыхъ электрическихъ емкостей.*

При помощи тока чрезъ іонизированный воздухъ можно достаточно точно измѣрить небольшія электрическія емкости. Для этого возьмемъ конденсаторъ *AB* (фиг. 6); верхнюю пластинку соединимъ съ электрометромъ (показывающимъ до 10000 volt) и электрическою машиною и зарядимъ ее до нѣкотораго постояннаго потенціала (поддерживать этотъ потенціалъ постояннымъ будетъ легче, если пластинку соединить съ большою емкостью); на нижнюю пластинку *A* положимъ радіоактивное вещество *R* и при помощи секундомѣра опредѣлимъ время τ, въ теченіе котораго потенціалъ нижней пластинки поднимается на опредѣленную величину V, измѣряемую по электрометру съ алюминіевымъ листкомъ. Силу тока чрезъ воздухъ назовемъ i, емкость пластинки *A* и присоединенныхъ къ ней проводниковъ и электрометра назовемъ C; тогда



фиг. 6.

$$i\tau = CV.$$

Присоединимъ къ нижней пластинкѣ *A* изолированный шаръ *G* радіусомъ въ 10 cm и поставленный такъ далеко отъ сосѣднихъ тѣлъ, чтобы его емкость можно было принять равною 10 электростатическимъ единицамъ (*CGS*) или $10.1/9.10^{-11}$ far. Затѣмъ вновь опредѣлимъ время τ', по истеченіи котораго потенціалъ нижней пластинки поднимется до тѣхъ же V volt; тогда можно написать:

$$i\tau' = (C+10)\,V\,.$$

Изъ этихъ двухъ формулъ находимъ

$$C = 10 \frac{\tau}{\tau' - \tau} = 10 \frac{\tau}{\tau' - \tau} \frac{1}{9} 10^{-11} \text{ far.}$$

Теперь, когда мы знаемъ C, съ пластинкою можно соединить другіе проводники и—по продолжительности наростанія потенціала—можно опять вычислить емкости присоединяемыхъ проводниковъ.

7) *Измѣреніе силы тока разряднымъ электрометромъ.*

Обратно, зная емкость C пластинки и электрометра, получающихъ электричество, и зная время τ, въ теченіе котораго потенціалъ возростаетъ на величину V, мы можемъ вычислить силу тока i. Предполагая, что потенціалъ V малъ по сравненію съ разностью потенціаловъ E, производящею токъ, силу тока i можно считать постоянною и написать:

$$i = \frac{CV}{\tau}.$$

Такъ, напримѣръ, при одномъ изъ опытовъ оказалось, что потенціалъ нижней пластинки во время наибольшаго расхожденія листочковъ разряднаго электрометра равнялся 360 volt; продолжительность 5 колебаній разряднаго электроскопа была равною 30·7 sec; продолжительность 5 колебаній послѣ присоединенія емкости въ 10 cm (шара въ 10 cm радіуса) оказалась равною 37 sec. Поэтому

$$i = C \frac{360}{30{\cdot}7/5} = (C + 10) \frac{360}{37/5};$$

изъ сравненія послѣднихъ частей находимъ $C = 48{\cdot}7$ cm $=$ $= 48{\cdot}7.10^{-11}/9$ far., такъ что

$$i = 48{\cdot}7 \, \frac{1}{9} \, 10^{-11} \frac{360}{30{\cdot}7/5} = 3{\cdot}16.10^{-9} \text{ amp.}$$

Спб., 1903.

Энергія и энтропія

Ф. Ауэрбаха[1]).

—⁂—

1.

Если вѣрно, что государственный организмъ начинаетъ жить только съ того момента, когда получаетъ свои основные законы, то съ этой точки зрѣнія нужно сказать, что естественно-историческій міръ очень недавняго происхожденія. Лишь нѣсколько десятковъ лѣтъ, какъ былъ формулированъ основной законъ, которому подчиняются всѣ явленія природы—законъ сохраненія силы, какъ говорили прежде, или законъ сохраненія энергіи, какъ говорятъ теперь.

Но начнемъ съ болѣе конкретнаго, со всюду распространенной матеріи, съ видимаго и осязаемаго, со всѣхъ сторонъ насъ окружающаго вещества, изъ котораго составлено даже наше собственное „я", насколько оно тѣлесно. Относительно этой матеріи существуетъ законъ или принципъ, считаемый наивными людьми совершенно понятнымъ, и потому, можетъ быть, недостаточно оцѣниваемый, что совершенно несправедливо, какъ показываетъ исторія науки.

Этотъ законъ говоритъ: количество вещества цѣлаго міра остается всегда одно и то же; или иначе: вещество не можетъ быть создано или уничтожено. Это законъ постоянства массы или сохраненія вещества. Обѣ формулировки выражаютъ одно и то же; только первая облечена въ точную форму, при чемъ вещество представляется въ видѣ массы, т. е. количествомъ, измѣреннымъ въ граммахъ или килограммахъ. Нашъ законъ говоритъ, что эта масса остается неизмѣнною во всемъ мірѣ, а качество вещества можетъ непрерывно измѣняться и дѣйствительно измѣняется.

---

[1]) Die Weltherrin und ihr Schatten. Ein Vortrag über Energie und Entropie von Dr. *Felix Auerbach*, Prof. a. d. Universität Jena (1902).

Мы выразили нашъ законъ въ самомъ общемъ видѣ, примѣнивъ его къ цѣлому міру; но при извѣстныхъ условіяхъ онъ примѣнимъ ко всякой части вселенной. Это условіе состоитъ въ томъ, чтобы данный комплексъ тѣлъ былъ отъ остальнаго міра—внѣшняго міра —отдѣленъ непроницаемымъ для вещества образомъ; если подобное условіе выполнено, то какіе бы процессы ни испытывали наши тѣла, количество ихъ матеріи или ихъ масса останется неизмѣнною. Если система неизолирована въ матеріальномъ смыслѣ, то ее можно дополнить тѣми комплексами, съ которыми она обмѣнивается веществомъ; слѣд. можно говорить объ „изолированныхъ" и „неизолированныхъ" системахъ. Нашъ законъ гласитъ, что масса изолированной системы остается всегда неизмѣнною. Значеніе закона сохраненія матеріи лучше всего видно изъ того обстоятельства, что сознательное примѣненіе его въ химіи сразу сдѣлало послѣднюю настоящею наукою, тогда какъ до того это было собраніемъ замысловатыхъ идей, игрушечныхъ опытовъ и фантастическихъ мечтаній. Наукою въ строгомъ смыслѣ этого слова химія стала лишь съ тѣхъ поръ, какъ сто лѣтъ тому назадъ химики взяли въ руки вѣсы и ими начали опредѣлять массы тѣлъ; тогда обнаружилось, что когда два тѣла соединяются вмѣстѣ, или тѣло распадается на свои составныя части, когда вообще тѣла химически измѣняются или превращаются, сумма массъ всѣхъ принимавшихъ участіе въ процессѣ тѣлъ одна и та же, какъ въ началѣ, такъ и въ концѣ. Когда тѣло сгораетъ, быстро-ли съ отдѣленіемъ пламени или медленно, какъ ржавѣющее желѣзо, то оно не теряетъ своей массы, какъ это прежде думали, но, какъ показываетъ взвѣшиваніе, напротивъ того увеличивается въ своей массѣ При ближайшемъ изслѣдованіи дѣла оказывается, что это приращеніе происходитъ на счетъ кислорода окружающаго воздуха и что послѣдній настолько теряетъ массы, на сколько увеличивается масса сгорающаго тѣла Всѣ опыты послѣдняго столѣтія показываютъ, что во всякомъ процессѣ, какъ бы простъ или сложенъ онъ ни былъ, вещество не создается и не теряется. Вслѣдствіе этого законъ сохраненія матеріи сталъ основаніемъ цѣлой науки, химіи; и только съ тѣхъ поръ, какъ было найдено это основаніе, съ тѣхъ поръ, какъ Лавуазье ввелъ вѣсы въ химію, послѣдняя заслужила названіе точной науки.

Сохраненіе матеріи должно быть признано основаніемъ химіи; этотъ законъ есть путеводная звѣзда на небосклонѣ хими-

ковъ; съ нея химики не должны спускать глазъ, чтобы не терять вѣрнаго пути; она привела ученыхъ въ тѣ области, которыхъ не касалась ихъ нога. Послѣднее время дало тому по истинѣ блестящій примѣръ.

Законъ сохраненія матеріи даетъ въ руки химиковъ контроль надъ ихъ опытами, выражаемый правиломъ „анализъ долженъ сходиться". Если анализъ сходится, то задача рѣшена вѣрно; если же онъ не сходится, если сумма частей не равна цѣлому, то возможна прежде всего ошибка наблюденія или вычисленія; если же этого нѣтъ, то мы должны заключить, что напали на слѣдъ тайны, что при изслѣдуемомъ процессѣ принимало участіе еще неизвѣстное вещество. Блестящій примѣръ тому, относится къ окружающему атмосферному воздуху, составъ котораго, казалось бы, долженъ быть давно намъ извѣстенъ. Между тѣмъ, когда нѣсколько лѣтъ тому назадъ лордъ Ралей и Рамзай произвели чрезвычайно точныя изслѣдованія, то оказалось, что анализъ воздуха не сходится; и вытекавшее отсюда предположеніе, что въ атмосферномъ воздухѣ находится неизвѣстное намъ вещество, болѣе, чѣмъ подтвердилось: одно за другимъ въ атмосферѣ было найдено съ полдюжины такихъ веществъ, которыя содержатся тамъ въ ничтожномъ процентѣ, но абсолютно въ такомъ громадномъ количествѣ, что теперь ихъ продаютъ бутылями.

2.

Сохраненіе матеріи есть-ли единственная путеводная звѣзда на небосклонѣ изслѣдователя природы? Этотъ вопросъ можно замѣнить другимъ: есть-ли химія единственная наука о природѣ? Читатель, конечно, поспѣшитъ дать отрицательный отвѣтъ. Развѣ не существуетъ физики и астрономіи, минералогіи и геологіи, ботаники и зоологіи, землевѣдѣнія и наконецъ науки о человѣкѣ со всѣми ея раздѣленіями до медицины включительно? Ставя нашъ вопросъ, мы не думали давать ему такое широкое толкованіе. Астрономія есть не что иное, какъ физика небесныхъ тѣлъ. Если въ такъ наз. описательныхъ наукахъ, кромѣ простыхъ описаній, есть что-нибудь истиннаго и точнаго, то это опять-таки не что иное, какъ физика или химія. То же самое слѣдуетъ сказать о минералахъ: это химическія соединенія или смѣси и ихъ формы—кристаллы—подчиняются физическимъ законамъ. О растительныхъ и животныхъ организмахъ опять надо

сказать то же; только здѣсь, по крайней мѣрѣ при теперешнемъ состояніи знаній, входитъ еще третье—понятіе о жизненныхъ принципахъ въ ихъ старомъ и новомъ видахъ, какъ то жизненная сила, развитіе, подборъ, наслѣдственность, приспособленіе и т. д—принципы, о которыхъ теперь нельзя еще сказать не будутъ-ли они въ свою очередь сведены къ физическимъ и химическимъ основамъ. Эти понятія еще не могутъ быть точно (въ математическомъ смыслѣ этого слова) формулированы. Точнымъ во всѣхъ естественныхъ наукахъ можетъ быть только химическое или физическое. Поэтому на вопросъ, поставленный въ началѣ этого параграфа, можно отвѣтить такъ: рядомъ съ химіею стоитъ родственная ей наука—физика; и если извѣстно, что вѣрное въ одной изъ нихъ вѣрно и въ другой, то возникаетъ задача отыскать основной принципъ, который бы, какъ химикамъ принципъ сохраненія матеріи, служилъ физикамъ путеводною звѣздою.

Но что такое физика и какъ она относится къ химіи? Прежде говорили: физика есть ученіе о силахъ природы, а химія—ученіе о тѣлахъ природы. Тѣло и сила суть слѣд. противоположенія; это тотъ дуализмъ, который столь же старъ, какъ мыслящее человѣчество, тотъ дуализмъ, который величайшіе мыслители всѣхъ временъ стремились разрѣшить въ монизмъ; какъ въ природѣ существуетъ золото и серебро, вода и воздухъ, хлорофилъ и бѣлокъ, такъ существуютъ движущая, давящая, нагрѣвательная, освѣщающая, электризующая и намагничивающая силы; и какъ всякій химическій процессъ вызывается матеріею, такъ всякій физическій процессъ вызывается силою. Не слѣдуетъ думать, чтобы въ первыхъ процессахъ участвовала одна матерія, а во вторыхъ однѣ силы, ибо и въ химическихъ процессахъ дѣйствуютъ силы, а физическіе процессы связаны съ міромъ тѣлъ; только въ однихъ все наше вниманіе сосредоточено на видоизмѣненіи вещества, а въ другихъ—на проявленіи силъ.

Теперь вѣроятно искомый основной принципъ физики (а вмѣстѣ съ тѣмъ и всего точнаго естествознанія) вертится на языкѣ читателя: сохраненіе силы. Это такъ, если только мы удержимъ способъ выраженія, господствовавшій болѣе ста лѣтъ. Но съ тѣхъ поръ мы стали точнѣе и въ этомъ формальномъ отношеніи, рѣшившись употреблять столь важное слово, какъ „сила“, лишь въ совершенно опредѣленномъ смыслѣ. Философы особенно въ прежнее время никогда не задумывались старымъ словамъ

придавать новыя значенія. Было бы крайне интересно прослѣдить какъ съ теченіемъ времени измѣнялось значеніе почти всѣхъ словъ философскаго лексикона. Это настоящій калейдоскопъ, картинки котораго могли бы насъ восхитить, если бы онѣ не были слишкомъ многообразны и не вызывали въ насъ потребности видѣть тѣ зеркала, которымъ обязаны своимъ происхожденіемъ, хотя бы для этого и пришлось сломать самый приборъ. Въ интересахъ лучшаго уразумѣнія дѣла мы такъ и поступимъ. Сила не должна быть ничего болѣе того, что—для удовлетворенія нашего чувства причинности—мы представляемъ себѣ причиною наблюдаемаго въ природѣ явленія, вызываемаго дѣйствіемъ этой причины; слѣд. сила есть нѣчто, о чемъ мы ничего объективнаго не знаемъ и знать не можемъ просто потому, что въ немъ нѣтъ ничего объективнаго; это „нѣчто" имѣетъ лишь тѣ признаки, которые мы субъективно ему приписываемъ при спеціальномъ построеніи этой причинной зависимости. Отсюда ясно, что о силѣ (въ этомъ отвлеченномъ смыслѣ слова) не можетъ быть ничего сказано, что могло бы быть положено принципомъ въ основу реальнаго міра. Если и въ физикѣ есть законъ сохраненія, если существуетъ нѣчто постоянное и неизмѣнное при всѣхъ безконечно разнообразныхъ явленіяхъ природы, то этимъ „нѣчто" не можетъ быть такая абстрактность, какъ сила, это—напротивъ того—должно быть столь же реальное, какъ матерія, хотя бы неосязаемое и невидимое.

Но существуетъ-ли что-нибудь столь же реальное, какъ матерія? Какимъ образомъ мы должны познавать реальность этого искомаго „нѣчто"? Я предложу признакъ, нѣсколько грубый и тривіальный, но противъ доказательности котораго едва-ли кто будетъ спорить, признакъ, взятый изъ ежедневнаго обихода и банальнѣйшей дѣйствительности и значеніе котораго каждый изъ насъ давно знаетъ по своему собственному опыту. Кромѣ матеріи, такъ спросимъ мы, существуетъ-ли что-нибудь, оплачиваемое деньгами? На этотъ вопросъ едва-ли кто затруднится отвѣтить: деньги платятся за работу и иногда гораздо больше, чѣмъ за матеріалъ, къ которому она приложена; такъ напр. при покупкѣ микроскопа цѣною въ 1000 Mk., за матеріалъ едва-ли придется 100 Mk., остальное приходится за работу. При этомъ мы не будемъ, какъ то дѣлаютъ политико-экономы, работу человѣка отличать отъ работы машины, но все включимъ въ понятіе работы.

Итакъ: и матеріалъ надо оплачивать, и работу надо оплачивать; рядомъ съ матеріею существуетъ еще нѣчто столь же реальное: это—работа.

Заговоривъ о деньгахъ, попробуемъ съ ихъ помощью уяснить себѣ что такое собственно работа. Мы нанимаемъ работника и поручаемъ ему столько-то кирпичей поднять на такую-то высоту. Работника можно оплачивать двумя различными способами; во-первыхъ работника можно разсчитывать по времени, въ теченіе котораго онъ работаетъ, т. е. по часамъ, все равно что бы онъ ни сдѣлалъ въ часъ. Такой способъ оплаты имѣетъ свои неудобства: ненадежный работникъ, зная, что плата ему обезпечена, готовъ лѣниться; добросовѣстный работникъ ничего не получитъ за свой излишній трудъ; къ тому же работа не безгранично возростаетъ пропорціонально времени, но—вслѣдствіе утомленія работника—возростаетъ медленнѣе.

Въ виду всего этого гораздо лучше работника оплачивать другимъ способомъ—по-штучно, т. е. за дѣйствительно совершенную имъ работу. Конечно иногда работу нельзя оцѣнить численно, напр. работу фабричнаго мастера, слѣдящаго за каждымъ работникомъ, за правильнымъ теченіемъ всего дѣла. Или, если взять примѣръ изъ другой области, при преподаваніи; нельзя сказать учителю музыки: вы получите 5000 Mk., если изъ моего сына сдѣлаете Іохима. Въ такихъ случаяхъ слѣдовало бы остаться при вознагражденіи по часамъ и при томъ болѣе способнымъ людямъ платить за часъ больше, чѣмъ менѣе способнымъ.

Въ наукѣ оцѣнка производится исключительно по совершенной работѣ; такъ въ типичномъ случаѣ, когда приходится преодолѣвать силу тяжести, работа оцѣнивается произведеніемъ силы на пройденный путь. Если работникъ вмѣсто одного кирпича поднимаетъ десять кирпичей, то онъ совершаетъ въ десятеро бо́льшую работу, ибо преодолѣваетъ въ десять разъ бо́льшую силу (тяжесть, вѣсъ); также точно онъ совершаетъ въ десять разъ бо́льшую работу, если одинъ кирпичъ поднимаетъ не на одинъ метръ, а на десять метровъ; наконецъ если десять кирпичей онъ поднимаетъ на десять метровъ, то совершаетъ въ сто разъ бо́льшую работу.

Итакъ работа есть поднятіе груза на болѣе высокій уровень, будемъ-ли мы это понимать буквально или въ переносномъ смыслѣ: буквально въ случаѣ каменьщика, въ переносномъ смы-

слѣ въ случаѣ учителя, который долженъ сопротивляющуюся массу ученика поднять на болѣе высокій умственный уровень; работа учителя тѣмъ значительнѣе, чѣмъ выше уровень, на который онъ поднимаетъ ученика, и чѣмъ больше сопротивляется масса, т. е. чѣмъ менѣе способенъ ученикъ. Аналогія между физическимъ и духовнымъ, какъ нельзя болѣе полная и наглядная.

3.

Возвращаясь къ нашему противоположенію между матеріею и работою, которое, какъ и всякое противоположеніе, въ сущности есть сближеніе, мы можемъ провести слѣдующую параллель: всякое вещество, которое мы употребляемъ, берется изъ запасовъ: сахаръ, который мы кладемъ въ чай, берется изъ запаса торговца, уголь, которымъ мы топимъ печи, берется изъ запасовъ земной коры; совершенно также и относительно совершаемой работы: она берется изъ запаса работы во вселенной.

Для запаса работы было введено особое названіе; при классическомъ и международномъ характерѣ современной науки вполнѣ понятно и совершенно цѣлесообразно было заимствовать это названіе изъ сокровищницы греческаго языка, названіе, которое уже давно перешло въ современный словарь. Міровой запасъ работы называютъ *энергіею*, а запасъ работы, заключающійся въ какой-нибудь части міра, напр. въ одномъ тѣлѣ, называютъ энергіею этого тѣла.

Всюду, куда бы мы ни взглянули, имѣется матерія; всюду, куда бы мы ни поглядѣли, имѣется и энергія; какъ матерія, такъ и энергія здѣсь въ покоѣ, тамъ въ движеніи, тутъ въ состояніи превращенія; и какъ химія есть наука о превращеніи вещества, такъ физика есть наука о превращеніи энергіи.

Выраженіе „въ тѣлѣ содержится энергія" слѣдуетъ понимать не образно, а совершенно конкретно. Въ ядрѣ, выбрасываемомъ пушкою, содержится не только нѣсколько килограммъ металла, но и опредѣленное количество энергіи; одно столь же дѣйствительно, какъ и другое; точно то же можно сказать относительно заведенной часовой пружины или склада динамита. Вещество не реальнѣе энергіи; какъ вещество, такъ и энергія познаются по ихъ дѣйствіямъ: вещество по его дѣйствію на наше чувство осязанія, напр. по тому сопротивленію, которое оно оказываетъ ощу-

пывающему его пальцу, или по его дѣйствію на глаза, при чемъ оно вызываетъ впечатлѣніе формы и цвѣта. Энергія познается по ея специальнымъ дѣйствіямъ, и нельзя сказать, чтобы въ случаяхъ ударяющаго ядра и взрывающагося динамита эти дѣйствія были менѣе реальны. Слѣд. энергія есть нѣчто реальное; съ энергіею мы можемъ обходиться также, какъ съ матеріею, ее можно продавать и перепродавать, употреблять и расточать; подобно матеріи и энергія можетъ принимать многіе виды: таковы механическая и звуковая энергіи, тепловая и свѣтовая энергіи, магнитная и электрическая энергіи, химическая энергія и жизненная энергія. Наконецъ энергія столь реальна, что—подобно матеріи—можетъ быть точно измѣрена.

Теперь мы подошли къ важному и трудному вопросу. Какъ измѣряютъ энергію и однородную съ нею работу? При отвѣтѣ на этотъ вопросъ у физиковъ возникаетъ зависть къ химикамъ. Для измѣренія всякаго рода тѣлъ имѣется одинъ приборъ—вѣсы; намъ представляется совершенно понятнымъ, что ими можно взвѣшивать золото и сѣрную кислоту, зерно и книги. Къ сожалѣнію для энергіи нѣтъ аналогичнаго инструмента, нѣтъ вѣсовъ, которыми бы можно было „взвѣшивать" энергію; нѣтъ даже никакой надежды, чтобы когда-нибудь былъ построенъ такой универсальный приборъ. Въ принципѣ, конечно, тутъ нѣтъ ничего невозможнаго, такъ какъ всѣ виды энергіи находятся въ тѣсномъ родствѣ; но дѣйствительное исполненіе невѣроятно. Такимъ образомъ для каждаго рода энергіи мы имѣемъ особый измѣрительный приборъ: механическая энергія измѣряется динамометромъ и другими извѣстными техникамъ инструментами, теплота—калориметромъ, электрическая энергія—электрическимъ счетчикомъ.

При такихъ обстоятельствахъ утѣшительно, что по крайней мѣрѣ мы достигли теперь одного: общей единицы измѣренія для всѣхъ формъ энергіи, т. е. того, чѣмъ для матеріи въ научныхъ измѣреніяхъ служить граммъ, а въ практическихъ измѣреніяхъ—килограммъ.

Послѣ того, что было сказано о сущности работы и объ ея измѣреніи, легко уже догадаться какъ мы должны составить единицу для работы и энергіи. Имѣя въ виду прежній примѣръ поднятаго груза, ясно, что единица работы должна содержать въ себѣ единицу массы, а также единицу длины; если, слѣдуя обыденной практикѣ, примемъ килограммъ для первой и метръ

для второй, то получаемъ практическую единицу работы—„килограммъ-метръ", т. е. работу, когда грузъ вѣсомъ въ килограммъ поднимается на высоту метра. Въ наукѣ употребительна другая единица—„эргъ". Строгое опредѣленіе этой единицы завело бы насъ слишкомъ далеко; мы удовольствуемся указаніемъ на ея величину: приблизительно это представляетъ ту работу, которая совершается при поднятіи на центиметръ самаго меньшаго изъ разновѣсовъ, которые прилагаются къ точнымъ вѣсамъ, именно миллиграмма (обыкновенно это кусочекъ алюминіевой проволоки); точнѣе говоря, эргъ на 2% больше такой работы. Во всякомъ случаѣ это совершенно ничтожная работа, такъ что для нуждъ техники составляютъ кратное отъ эрга, напр. килоэргъ (1000 эрговъ) и мегаэргъ (милліонъ эрговъ). О малости эрга можно судить по его стоимости. Наши электрическія станціи считаютъ на килоуаттъ-часы, какъ называютъ энергію въ 36 билліоновъ эрговъ; и такой килоуаттъ-часъ оплачивается приблизительно 36 пфенигами; слѣд. работа въ одинъ эргъ стоитъ лишь билліонную часть пфенига!

И все-таки изъ этого не слѣдуетъ, чтобы эргъ была такая величина, которая меньше всего того, что играетъ какую-нибудь роль въ жизни человѣка, и чтобы такую единицу не стоило вводить. Между прочимъ можно привести такой примѣръ изъ области звуковъ. Въ послѣднее время пришлось измѣрить работу, которую совершаетъ звукъ, достигающій барабанной перепонки; при этомъ оказалось, что если она не болѣе даже одной тысячной эрга, то слышенъ все-таки громкій звукъ, и даже когда его энергія не превышаетъ милліонной доли эрга, слышится вполнѣ замѣтный звукъ! Новый примѣръ едва постижимыхъ контрастовъ въ природѣ.

4.

Теперь мы должны на короткое время перенестись въ 18-ое столѣтіе, когда великіе мыслители были одновременно философами, математиками и естествоиспытателями. Въ этомъ столѣтіи, благодаря трудамъ Лейбница и Гюйгенса, братьевъ Бернулли и Лагранжа, былъ установленъ одинъ законъ, который сначала имѣлъ очень ограниченную область примѣненія, но заключалъ въ себѣ зародышъ плода, вполнѣ созрѣвшаго лишь въ слѣдующемъ только-что минувшемъ 19-мъ вѣкѣ.

Этотъ законъ касается двухъ понятій, которыя тогда назывались: одно живою силою, а другое мертвою силою или силою напряженія (Spannkraft) и которыя теперь мы называемъ кинетическою и потенціальною энергіями. Живая сила есть исключительная привилегія движущагося тѣла и она тѣмъ больше, чѣмъ массивнѣе само тѣло и чѣмъ скорѣе оно движется, а именно съ удвоеніемъ массы живая сила тоже удвоивается, а съ удвоеніемъ скорости живая сила учетверяется (съ утроеніемъ скорости живая сила удевятеряется и т. д.). Примѣромъ опять можетъ служить пушечное ядро, живая сила или кинетическая энергія котораго пропорціональна его массѣ и квадрату его скорости; такимъ образомъ два ядра, изъ которыхъ одно имѣетъ массу въ четыре раза меньшую другого, могутъ обладать равными кинетическими энергіями, если только скорость второго вдвое больше скорости перваго. Силою напряженія или потенціальною энергіею можетъ обладать тѣло, находящееся въ покоѣ, если оно способно прійти въ движеніе, какъ только представится къ тому случай. Потенціальною энергіею обладаетъ напр. заведенная часовая пружина или подвѣшенная на веревкѣ гиря. Такая гиря находится, такъ сказать, въ состояніи напряженія относительно земной поверхности, въ состояніи, которое образно можно выразить такъ: она желала бы упасть, но не можетъ этого сдѣлать. Если же веревку перерѣзать, то гиря дѣйствительно падаетъ, при чемъ ея потенціальная энергія постепенно переходитъ въ кинетическую, подобно тому, какъ въ теченіе сутокъ это дѣлается съ энергіею часовой пружины. Напряженіе груза постепенно уменьшается, а его скорость постепенно возростаетъ.

Если бы въ разсмотрѣнныхъ случаяхъ мы для каждаго момента измѣрили какъ потенціальную энергію, такъ и кинетическую, то нашли бы, что хотя каждая изъ нихъ непрерывно измѣняется, но сумма ихъ остается постоянною. Въ этомъ заключается составляющій непоколебимый устой всего естествознанія законъ живой силы, законъ о постоянствѣ живой силы и силы напряженія или, какъ теперь говорятъ, *законъ сохраненія механической энергіи.* Механика есть наука о движеніи, и для этой обширной науки, включая сюда ея приложенія къ разнообразнѣйшимъ отраслямъ техники, нашъ законъ сталъ съ тѣхъ поръ незыблемымъ основаніемъ. Механическая работа также, какъ и матерія, не можетъ быть создана изъ ничего; всѣ машины, которыя въ погонѣ за развитіемъ своего благосостоянія строитъ чело-

вѣкъ, имѣютъ своимъ назначеніемъ лишь направлять работу удобнѣйшимъ путемъ, приспособлять ее къ обстоятельствамъ каждаго отдѣльнаго случая. Какъ поварское искуство имѣетъ цѣлью изготовлять кушанья вкусно и разнообразно, но не увеличивать ихъ питательность, съ самаго начала содержащуюся въ данныхъ продуктахъ, такъ и механизмъ не даетъ энергіи болѣе, чѣмъ въ него вложено. Какъ бы ни развивалась механика и механическая техника, но предѣлы ихъ устанавливаются закономъ сохраненія механической энергіи.

5.

Картина, которую мы нарисовали относительно энергіи, далеко еще не полна. Вернемся къ нашему примѣру груза, падающаго послѣ того, какъ перерѣзана нить. По мѣрѣ паденія этотъ грузъ поглощаетъ свою потенціальную энергію и развиваетъ кинетическую энергію, и передъ моментомъ прикосновенія къ землѣ вся его потенціальная энергія превращается въ кинетическую. А что будетъ въ слѣдующій затѣмъ моментъ? Напряженія относительно земли болѣе нѣтъ, такъ какъ грузъ уже достигъ ея поверхности; живая сила тоже изчезла, такъ какъ грузъ неподвиженъ. Нашъ грузъ вообще не обладаетъ болѣе энергіею, она уничтожена и законъ сохраненія механической энергіи какъ бы нарушенъ. Въ дѣйствительности здѣсь, какъ и во многихъ подобныхъ случаяхъ, это нарушеніе только кажущееся; механическая энергія дѣйствительно потеряна, но отъ потери энергіи *вообще* природа застрахована, подобно тому, какъ мы застраховываемъ свое имущество отъ огня, съ тѣмъ однако различіемъ, что природа—да ей и не остается ничего другого—сама у себя застрахована. За потерю механической энергіи получается вознагражденіе, которое легко обнаруживается наблюденіями и которое можетъ быть очень разнообразнаго характера. Напр. вслѣдствіе удара груза почва можетъ быть сдавлена и тогда она приходитъ въ состояніе напряженія; земля сама получаетъ потенціальную энергію, которая при извѣстныхъ условіяхъ можетъ заставлять ее издавать звукъ; или же поверхность земли нагрѣвается отъ удара, здѣсь возникаетъ теплота.

Перенесемся за сто лѣтъ назадъ. Въ непрерывно развивающейся дисциплинѣ за такой промежутокъ времени кругъ представленій величайшихъ людей превращается въ кругъ представ-

ленія безсловеснаго ребенка. Вообразимъ себѣ мальчика, который бы положилъ въ стаканъ куколку и въ одинъ прекрасный день прибѣжалъ къ своему отцу со словами: сегодня совершились два чуда, во-первыхъ куколка исчезла, а во вторыхъ появилась великолѣпная бабочка! Отецъ разсмѣялся бы и сказалъ: тутъ нѣтъ никаго чуда, просто куколка превратилась въ бабочку. Сто лѣтъ тому назадъ теплоту считали за матерію, и передъ упомянутымъ выше опытомъ съ ударяющимъ и нагрѣвающимъ землю грузомъ стояли, какъ передъ двоякимъ чудомъ: механическая энергія или, короче говоря, работа исчезала, и кромѣ того теплота, особаго рода матерія, создавалась изъ ничего — обстоятельства, изъ которыхъ старались выпутаться всевозможными искуственными соображеніями. Теперь мы, какъ отецъ своему сыну, говоримъ: очень просто, теплота вовсе не матерія, теплота есть родъ энергіи, и тутъ просто механическая энергія превращается въ тепловую энергію или короче—работа въ теплу.

Кто бывалъ въ Карстѣ или другихъ мѣстностяхъ богатыхъ известняковыми формаціями, тотъ знакомъ съ удивительнѣйшимъ явленіемъ, представляемымъ иногда нашею планетою: обильная водою рѣка вдругъ исчезаетъ въ почвѣ, а въ другомъ мѣстѣ изъ почвы выходитъ рѣка и не въ видѣ источника, а какъ вполнѣ сформированная, часто широкая рѣка. Довольно поздно географы пришли къ догадкѣ, что вторая рѣка не что иное, какъ продолженіе первой; во многихъ случаяхъ это предположеніе оправдалось простыми опытами.

Всѣ эти сравненія показываютъ сколь различны сужденія о вещи съ точки зрѣнія уже установленнаго знанія и съ точки зрѣнія еще выработываемаго знанія. Если извѣстно, что гусеница, куколка и бабочка однородны, то идея о превращеніи является сама собою; если же мы этого не знаемъ, то надо обладать храбростью, чтобы, несмотря на большое внѣшнее ихъ различіе, утверждать ихъ однородность. Для непосвященнаго движеніе и теплота столь различны, что научная храбрость поставить ихъ въ непосредственную связь вызываетъ не меньшее удивленіе, чѣмъ лежащее въ ея основѣ научное предвидѣніе.

Правда храбрость, неподкрѣпленная оружіемъ, обращается въ легкомысліе. Если бы кто сталъ утверждать, что сельдь можемъ обратиться въ щуку, тотъ вызвалъ бы насмѣшки; но итальянскій ученый Грасси сдѣлался знаменитъ, доказавъ, что одна давно извѣстная морская рыба есть не что иное, какъ ранняя

форма развитія угря, хотя они не имѣютъ между собою ни малѣйшаго сходства. Кто утверждаетъ, что теплота однородна съ механическою энергіею, тотъ долженъ дать тому неопровержимое доказательство, тотъ долженъ показать, что гдѣ бы и какимъ бы процессомъ работа ни обращалась въ теплоту, взамѣнъ опредѣленнаго количества работы всегда является одно и то же количество тепла, и что то же имѣетъ мѣсто, когда наоборотъ теплота превращается въ работу. Для работы мы имѣемъ единицу (практическую—килограммъ-метръ и научную—эргъ); для тепла тоже имѣется единица, которую называютъ калоріею (количество тепла, нужное для нагрѣванія съ 4^0 до 5^0 единицы массы воды: практической—килограммъ-вѣса или научной—граммъ-массы). Слѣдовательно надо доказать, что безразлично, будемъ-ли мы работу превращать въ теплоту ударомъ или треніемъ, сжатіемъ или при помощи электрическаго тока, *всегда надо затратить столько-то килограммъ-метровъ (или эрговъ), чтобы получить ровно одну калорію.* Во второй половинѣ истекшаго столѣтія такое доказательство было проведено для безчисленнаго множества случаевъ. При этомъ оказалось, что для нагрѣванія на 1^0 одного килограмма воды требуется затрата такой же работы, какъ и для поднятія 428 килограммовъ на высоту одного метра. Такимъ образомъ 428 килограммъ-метровъ эквивалентны практической калоріи или 42 милліона эрговъ эквиваленты научной калоріи. Это число называется *механическимъ эквивалентомъ тепла*; это точное числовое выраженіе одной изъ величайшихъ тайнъ природы, которыя человѣкъ, по мѣрѣ развитія своихъ знаній, постоянно похищаетъ у нея.

6.

Послѣ того, какъ сдѣланъ былъ первый шагъ, послѣ того, какъ было установлено, что движеніе и теплота суть эквивалентныя формы одного и того же—энергіи, нельзя было долѣе колебаться, надо было новую мысль прослѣдить до ея крайнихъ слѣдствій и твердо утвердить ея положенія: всѣ дѣятели, вызывающіе разнообразнѣйшія явленія природы—движеніе и теплоту свѣтъ и звукъ, электричество и магнитизмъ, химизмъ и кристаллизацію, суть не болѣе, какъ различныя и въ опредѣленномъ эквивалентномъ отношеніи находящіяся между собою формы энергіи, которая такимъ образомъ въ извѣстномъ смыслѣ господствуетъ въ природѣ. Послѣ этого всѣ явленія природы состоятъ или въ

перемѣнѣ мѣста, или въ перемѣщеніи энергіи или наконецъ въ превращеніи энергіи, напр. въ превращеніи напряженія въ движеніе, движенія въ электричество, электричества въ теплоту, теплоты въ свѣтъ.

Правда издавна уже существовало громкое выраженіе „сродство физическихъ силъ". Но между этимъ выраженіемъ и новыми идеями существуетъ такое же различіе, какъ между сумерками фантастическихъ теорій и свѣтлымъ днемъ точныхъ знаній. „Сродство физическихъ силъ" было легковѣсною монетою, поддѣлка которой не представляла никакихъ затрудненій. Каждая внѣшняя аналогія, каждая кажущаяся связь могла выставляться, какъ дѣйствительное сродство. Новыя идеи не допускаютъ ничего подобнаго, такъ какъ предъявляютъ иныя требованія: онѣ требуютъ доказательства эквивалентности въ каждомъ случаѣ, т. е. доказательства, что изъ опредѣленнаго числа эрговъ всегда происходитъ опредѣленное количество напр. электрической энергіи и обратно; что́ въ механической энергіи произведеніе силы на путь, то здѣсь произведеніе тока на напряженіе. Если эквивалентность можно доказать для всѣхъ формъ энергіи, то одну энергію можно всегда вычислить по другой, ихъ всѣ можно выразить въ однѣхъ единицахъ, напр. въ эргахъ; и тогда эти величины должны удовлетворять общему закону, который въ узкихъ рамкахъ явленій движенія намъ уже извѣстенъ, какъ законъ сохраненія механической энергіи. Этотъ послѣдній, какъ мы видѣли, теряетъ свое значеніе, какъ только явленія сопровождаются развитіемъ тепла, электричества и т. д.; но эта потеря вознаграждается гораздо болѣе цѣннымъ и обширнымъ — великимъ *закономъ сохраненія энергіи.*

Теоретическія и экспериментальныя изслѣдованія, начатыя съ середины истекшаго столѣтія, дѣйствительно, сдѣлали этотъ законъ внѣ всякаго сомнѣнія. Сумма энергій всего міра постоянна; она постоянна и въ каждой системѣ, если только она (подобно тому, какъ это прежде мы представляли себѣ относительно матеріи) изолирована, если она не обмѣнивается энергіею съ остальнымъ міромъ (это можно осуществить лишь приблизительно); такую систему можно назвать энергетически-изолированною. Желѣзный шкафъ представляетъ попытку (хотя и очень несовершенную) устроить такую изолированную систему для одной, именно для тепловой энергіи; корабельный компасъ имѣетъ то же назначеніе по отношенію къ магнитизму судна. Если систе-

ма не изолирована, то, прибавляя къ ней тѣ системы, съ которыми она обмѣнивается энергіями, можно ее дополнить до изолированной; въ отдѣльно взятой системѣ энергія можетъ уменьшиться, но въ дополнительной системѣ она должна на столько же увеличиться или наоборотъ; слѣд. во всей изолированной системѣ энергія опять постоянна.

Повторимъ еще разъ: постоянна только сумма всѣхъ энергій изолированной системы, а не количество тепла или электрической энергіи—подобно тому, какъ въ склянкѣ число гусеницъ, куколокъ и бабочекъ, взятыхъ вмѣстѣ, постоянно, тогда какъ каждая изъ составныхъ частей можетъ измѣняться. Именно такія превращенія и образуютъ самое интересное изъ происходящаго въ мірѣ. Принципъ сохраненія энергіи и сдѣлался тою путеводною звѣздою на небосклонѣ физиковъ, которая не позволяетъ имъ сбиться съ пути. Гдѣ бы ни происходило превращеніе и перемѣщеніе энергіи, на лонѣ природы, въ лабораторіи ученаго или на фабрикѣ, общая сумма энергій, измѣренныхъ въ одинакихъ единицахъ, остается неизмѣнною; и гдѣ „анализъ" (совершенно аналогичный химическому анализу веществъ) не сходится, тамъ или вкралась ошибка или же сокрыта какая-нибудь не принятая во вниманіе энергія.

Не маловажный успѣхъ, которымъ мы обязаны нашему принципу, состоитъ въ томъ, что (соотвѣтственно тому, что было сказано относительно химіи) онъ устранилъ всякую фантастичность изъ науки. Многіе читатели догадываются, что это прежде всего касается пресловутой задачи о perpetuum mobile; если бы теперь кто-нибудь заинтересовался этимъ призракомъ, тотъ доказалъ бы, что имѣетъ очень ограниченное знакомство съ основаніями физики подобно тому, какъ занявшійся квадратурою круга доказалъ бы свое невѣжество въ математикѣ.

Однако смѣяться надъ perpetuum mobile нечего! Въ теченіе послѣдняго столѣтія не разъ возникала надежда создать perpetuum mobile, но каждый разъ она рушилась и тѣмъ самымъ способствовала укрѣпленію принципа сохраненія энергіи, правда, одной (можно сказать лучшей) половинѣ его, именно закону, что энергія не создается изъ ничего. Ибо perpetuum mobile должно быть машиною, которая бы не только вѣчно двигалась, какъ можно думать по названію, но которая, не питаемая извнѣ, непрерывно работала бы, т. е. совершала бы работу изъ ничего. Такая машина должна бы была создавать энергію; но всѣ попыт-

ки устроить такую машину не удавались, и это мало по малу вызывало сознаніе, что тутъ вопросъ заключается не въ искусствѣ, а въ принципѣ, именно, что *энергію нельзя создавать.* Только позже была установлена и вторая половина принципа, что *энергію нельзя уничтожать.*

Хотя наше изложеніе прежде всего фактическое, но было бы несправедливо не упомянуть тѣхъ славныхъ именъ, съ которыми связаны величайшіе успѣхи науки. На первомъ планѣ стоитъ Р. Майеръ, докторъ въ Гейльброннѣ; простой съ виду, но въ сущности глубоко просвѣщенный человѣкъ, онъ конечно больше утверждалъ, чѣмъ строго доказывалъ; но вѣдь и Сократъ въ сущности былъ человѣкъ утвержденій и постулатовъ, и тѣмъ не менѣе былъ великъ. Майеръ первый ясно и сознательно поставилъ тезисъ: всѣ силы (теперь слѣдовало бы сказать: всѣ энергіи) природы должны быть эквивалентны между собою, ибо иначе былъ бы хаосъ, а не гармоническое цѣлое, которымъ мы такъ восхищаемся. Майеръ проводилъ мысль объ эквивалентности работы и теплоты, но, не обладая достаточными средствами, не достигъ окончательныхъ результатовъ. Заслуги Майера долго не оцѣнивались и были признаны только очень поздно. Рядомъ съ нимъ стоитъ англійскій физикъ и техникъ Джауль, такъ прекрасно дополнявшій Майера и посвятившій всю свою жизнь тому, чтобы разнообразнѣйшими опытами доказать эквивалентность работы и тепла и опредѣлить числовое значеніе этой эквивалентности. Наконецъ Гельмгольцъ въ своемъ знаменитомъ мемуарѣ „Ueber die Erhaltung der Kraft" (1847) строго научнымъ путемъ распространилъ принципъ эквивалентности на всѣ формы энергіи и показалъ, къ какимъ слѣдствіямъ это ведетъ.

(Окончаніе слѣдуетъ).

Варшавскій Съѣздъ преподавателей физики и математики (27—30 дек. 1902 г.)

Ф. И. Ростовцева.

Осенью прошлаго года въ Варшавскомъ Кружкѣ преподавателей физики и математики возникла мысль устроить во время какихъ-либо каникулъ нѣчто въ родѣ нѣмецкихъ вакаціонныхъ курсовъ (Ferienkurse) для преподавателей физики и математики Варшавскаго Учебнаго Округа. Мысль эта встрѣтила полное сочувствіе со стороны Господина Попечителя Округа А. Н. Шварца, который не только разрѣшилъ устроить Съѣздъ, но и способствовалъ всѣми мѣрами его осуществленію. Кружокъ обратился къ нѣкоторымъ лицамъ и учрежденіямъ съ просьбою принять посильное участіе личными трудами въ достиженіи цѣлей, преслѣдуемыхъ Съѣздомъ, на что многіе весьма охотно выразили свое согласіе. Такимъ образомъ изъ числа лицъ, не принадлежащихъ къ Кружку, въ Съѣздѣ дѣятельное участіе принимали: профессора Варшавскаго университета А. В. Красновъ и К. А. Красускій, проф. Кіевскаго университета Н. Н. Шиллеръ, преподаватель Варш. реальн. учил. Ф. И. Ростовцевъ, преподаватель учил. св. Анны въ Петербургѣ Б. Ю. Кольбе. Кромѣ того проф. Петерб. универс. И. И. Боргманъ любезно прислалъ къ Съѣзду нѣсколько литровъ жидкаго воздуха, которымъ и воспользовался К. А. Красускій для демонстрацій при чтеніи своей лекціи; проф. Московскаго университета Н. А. Умовъ доставилъ двѣ цвѣтныя фотографіи (линейныхъ спектровъ), изготовленныя въ его лабораторіи по способу Липмана, которыя и были показаны на Съѣздѣ проф. П. А. Зиловымъ.

Соотвѣтственно намѣченнымъ цѣлямъ занятія Съѣзда состояли изъ лекцій, докладовъ и демонстрацій, которыми имѣлось въ виду 1) ознакомить участниковъ Съѣзда съ новѣйшими успѣхами изъ области физики, 2) освѣтить нѣкоторые методологиче-

скіе вопросы изъ области непосредственной дѣятельности преподавателей, 3) ознакомить ихъ съ практическою постановкою опытной части преподаванія физики и т. п Въ цѣляхъ дать возможность участникамъ Съѣзда ознакомиться съ физическими приборами различныхъ фирмъ Кружокъ обратился къ нѣкоторымъ фирмамъ, торгующимъ физическими приборами, съ просьбою выставить имѣющіеся у нихъ приборы. Въ образовавшейся такимъ путемъ выставкѣ приняли участіе фирмы: Берентъ и Плевинскій, Кольбе, Краузе и нѣкоторыя другія.

Утреннее (10—1 ч.) и вечернее (7—10 ч.) время Съѣздъ посвящалъ докладамъ, лекціямъ и демонстраціямъ, дневное (2—5 ч.) посѣщенію учебныхъ, городскихъ и промышленныхъ учрежденій. Такъ были посѣщены Съѣздомъ палеонтологическая лабораторія проф. Амалицкаго, Варшавскій политехническій институтъ Императора Николая II, физическіе кабинеты Варшавскихъ реальнаго училища (на Н. Съѣздѣ) и 2-ой мужской гимназіи, фабрика жидкой угольной кислоты и искуственнаго льда инж. Влодаркевича и Секлюцкаго, станція фильтровъ и фабрика объективовъ „Фосъ".

Лекціи и доклады, заслушанные на Съѣздѣ, а равно и произведенныя демонстраціи были слѣдующіе:

1) *Н. Н. Шиллеръ.* О преподаваніи физики въ средней школѣ.

2) *Онъ же.* Элементарное изложеніе механической части курса физики.

3) *А. В. Красновъ.* Сущность Коперниковой реформы въ астрономіи.

4) *Д. П. Петровъ.* Рѣшеніе одной задачи Діафанта.

5) *Э. К. Шпачинскій.* Объ основныхъ принципахъ электростатики.

6) *В. Л. Влодарскій.* Общій взглядъ на обратныя и противоположныя теоремы.

7) *Онъ же.* О правильномъ двуугольникѣ.

8) *Онъ же.* Объ измѣреніи угловъ.

9) *Онъ же.* Примѣненіе теоремы Гюльдена.

10) *А. А. Дмоховскій.* Электрическая станція при Ловичскомъ реальномъ училищѣ.

11) *А. С. Вольфензонъ.* О преподаваніи физики въ заграничныхъ школахъ.

12) *И. К. Окоемовъ.* О центральномъ физическомъ кабинетѣ.

13) *Н. С. Покровскій.* Устройство физическаго кабинета въ гимназіи.

14) *П. А. Зиловъ.* Замѣтки о классныхъ опытахъ.

15) *Онъ же.* Цвѣтная фотографія и хромоскопъ.

16) *Онъ же.* Всеобщее тяготѣніе (приборъ Кавендиша, см. *Физ. Обозр.*, стр. 85).

17) *Онъ же.* Вращеніе земли (маятникъ Фуко, см. *Физ. Обозр.* стр. 76).

18) *Онъ же.* Новые лучи.

19) *К. А. Красускій.* Опыты на границахъ температуръ (жидкій воздухъ, вольфшмидтовская смѣсь).

20) *Б. Ю. Кольбе.* Термоскопы (см. *Физ. Обозр.* стр. 32).

21) *Ф. И. Ростовцевъ.* Рядъ классныхъ опытовъ (демонстрированы въ физическомъ кабинетѣ реальн. училища); нѣкоторые изъ нихъ будутъ описаны въ этомъ журналѣ.

22) *Онъ же* показалъ въ физическомъ кабинетѣ университета: a) поющую и говорящую вольтову дугу, b) опыты Тесла, c) опыты Герца и d) безпроволочный телеграфъ (выставленный фирмою Берентъ и Плевинскій).

23) *С. Е. Троцевичъ.* Химическіе опыты гимназическаго курса физики.

24) *Онъ-же.* Пріемы паянія металловъ (демонстрировались въ 1-ой мужской гимназіи).

25) Въ физическомъ кабинетѣ политехническаго института членамъ Съѣзда были показаны: поющая вольтова дуга, мостикъ Уитстона, электрическое паяніе, цвѣтная фотографія и мн. др.

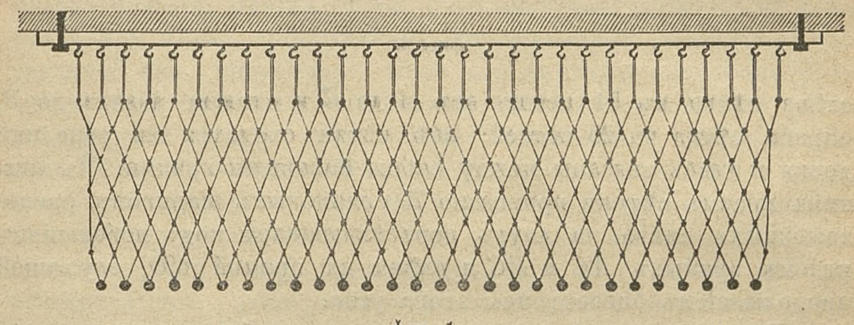
26) Фирма Сименсъ и Гальске демонстрировала громко говорящій телефонъ.

27) Общество граммофоновъ въ Россіи демонстрировало граммофонъ.

Въ заключеніе замѣтимъ, что Кружокъ имѣетъ въ виду издать труды Съѣзда.

Волновая машина
Ф. И. Ростовцева.

Возникновеніе и распространеніе поперечныхъ волнъ, а также явленій, ихъ сопровождающихъ, удобно показать на приборѣ, который я устроилъ слѣдующимъ образомъ. Къ потолку аудиторіи прикрѣплена доска въ 10 cm. ширины и 156 cm. длины; въ доску на разстояніи 5 cm. другъ отъ друга ввинчено 30 небольшихъ крючковъ, расположенныхъ на одной прямой; къ этимъ крючкамъ подвѣшена сѣтка, сплетенная изъ тонкой нити (каждая петля этой сѣтки имѣютъ 5 □ cm.); къ нижнему краю сѣтки привязано 29 свинцовыхъ шариковъ (діаметръ коихъ около 2 cm), которые располагаются по прямой линіи (фиг. 1). Если одинъ

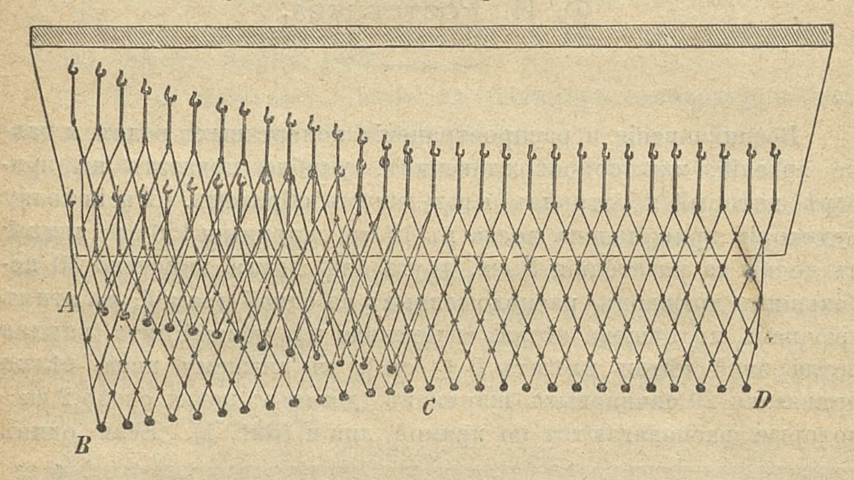


фиг. 1.

изъ крайнихъ шариковъ встряхнуть, то ближайшіе къ нему шарики изогнутся въ синусоиду, и этотъ изгибъ начнетъ перемѣщаться вдоль остальныхъ; на концѣ ряда сотрясеніе отразится и станетъ возвращаться назадъ и т. д.

Приборъ даетъ возможность показать образованіе стоячей волны; для этого одному изъ крайнихъ шариковъ сообщаютъ непрерывныя колебанія; тогда на рядѣ остальныхъ образуется стоячая волна: нѣкоторые шарики остаются неподвижными, а лежащіе между ними приходятъ въ энергичныя колебанія.

Для демонстрированія интерференціи приборъ надо было устроить нѣсколько сложнѣе. Въ доску (36 cm. ширины и 270 cm. длины), укрѣпленную къ потолку, было ввинчено 75 крючковъ, изъ коихъ 49 расположены по двумъ прямымъ, пересѣкающимся подъ небольшимъ угломъ, а остальные 29 на продолженіи биссектрисы этого угла (фиг. 2). За крючки подвѣшены двѣ сѣтки.



фиг. 2.

слѣва сѣтка въ 51 петлю отъ *A* до *C* и отсюда назадъ до *B*, справа сѣтка въ 25 петлей; обѣ сѣтки сходятся на серединѣ доски и здѣсь связаны между собою боковыми краями. Къ нижнимъ краямъ сѣтокъ привязано 75 свинцовыхъ шариковъ, расположенныхъ слѣва на двухъ пересѣкающихся подъ небольшимъ угломъ прямыхъ *AC* и *BC* и слѣва на прямой *CD*, служащей продолженіемъ биссектрисы этого угла.

Если шарики *A* и *B* привести въ колебанія съ одинакими фазами, то шарики прямой *CD* колеблются съ бо́льшими амплитудами; если же шарики *A* и *B* колебать съ противоположными фазами, то шарики *CD* остаются въ покоѣ или колеблются съ незначительными амплитудами.

Описанный приборъ былъ демонстрированъ на Варшавскомъ Съѣздѣ преподавателей физики и математики, происходившемъ въ концѣ минувшаго года.

Варшава, 1903.
